

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования

«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела, геологий и геотехнологий

институт

Горный машины и комплексы

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ А.В. Гилев

подпись инициалы, фамилия

«_____» _____ 2018 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.04.09 «Горные машины и оборудование»

код и наименование специализации

**Разработка оснастки и программного обеспечения для моделирования
динамических нагрузок подшипников качения шарошечных долот на
специальном стенде**

тема

Руководитель

подпись, дата

А.О. Шигин

инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

М.А. Туровец

инициалы, фамилия

Рецензент

подпись, дата

инициалы, фамилия

Консультанты:

Экономическая часть

подпись, дата

А.Д. Бурменко

инициалы, фамилия

Безопасность

жизнедеятельности

подпись, дата

Н.М. Капличенко

инициалы, фамилия

Красноярск 2018

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования

«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела, геологий и геотехнологий

институт

Горный машины и комплексы

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ А.В. Гилев

подпись инициалы, фамилия

«_____» _____ 2018 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме дипломной работы

Студенту Туровец Майе Александровне

фамилия, имя, отчество

Группа ЗГГ-1107 Направление (специальность) 21.05.04.09

номер

код

Горные машины и оборудование

наименование

Тема выпускной квалификационной работы Разработка оснастки и программного обеспечения для моделирования динамических нагрузок подшипников качения шарошечных долот на специальном стенде

Утверждена приказом по университету № 707/С от 23.01.2018

Руководитель ВКР А.О. Шигин, доцент, д.т.н., профессор кафедры ГМиК ИГДГиГ СФУ

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР Технические характеристики шарошечных долот и их подшипников. Характеристики нагрузок на подшипники шарошечных долот при бурении сложноструктурных породных массивов. Конструктивные характеристики стенда для исследования динамических нагрузок.

Перечень разделов ВКР Введение, Режимы и условия эксплуатации шарошечных долот при бурении взрывных скважин, Специальная часть, Безопасность жизнедеятельности, Экономическая часть, Заключение, Список использованных источников

Перечень графического материала Слайды презентации

Руководитель ВКР

подпись

А.О. Шигин

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

подпись, инициалы и фамилия студента

« ____ » _____ 20__ г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 РЕЖИМЫ И УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ШАРОШЕЧНЫХ ДОЛОТ ПРИ БУРЕНИИ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН.....	5
1.1 Особенности эксплуатации шарошечных долот в зависимости от применяемых материалов	14
1.2 Исследование нагрузок, действующих на буровой инструмент при бурении сложноструктурных породных массивов.....	19
1.3 Исследование нагрузок, действующих на буровой инструмент при бурении сложноструктурных породных массивов.....	29
2 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	40
2.1 Разработка оснастки для стенда	40
2.2 Разработка программного обеспечения для стенда.....	45
2.3 Работа программного обеспечения	45
3 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	48
3.1 Правила безопасности при проведении экспериментов	48
3.2 Техника безопасности при работе с электроприборами	48
3.3 Требования к конструкции установки и ее отдельным частям.....	51
3.4 Меры борьбы с шумом	53
3.5 Общие требования безопасности	54
3.6 Требования безопасности перед началом работ	55
3.7 Требования безопасности во время работы	56
3.8 Требования безопасности по окончании работ.....	56
3.9 Требования безопасности в аварийной ситуации.....	56
4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	57
4.1 Сетевая модель выполнения работы.....	57
4.2 Смета затрат на изготовление стенда	69
4.3 Расчет заработной платы рабочих.....	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	72
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	73

ВВЕДЕНИЕ

Горнодобывающая промышленность на современном этапе характеризуется интенсивным развитием открытого способа разработки полезных ископаемых.

Этот способ добычи полезных ископаемых как наиболее производительный, экономичный и безопасный занимает ведущее место в горнодобывающей промышленности. Буровзрывные работы находят все более широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Оставаясь основным средством отделения от массива и дробления горных пород при добыче полезного ископаемого, буровзрывные работы успешно применяются при строительстве плотин и выемок различного назначения, при разведке полезных ископаемых, при исследовании строения земной коры, при проходке нефтяных и газовых скважин, в машиностроении для сварки металлов, упрочнения и штамповки деталей и т.д. В общем технологическом комплексе производственных процессов горного предприятия буровзрывные работы определяют производительность погрузочно-транспортного оборудования и в конечном итоге себестоимость добываемой продукции.

Бурение трещиноватой и слоистой породы характеризуется значительными ударными нагрузками при прохождении шарошечным долотом трещин или границ между слоями породы с различными физико-механическими свойствами. Скачки напряжений при бурении трещиноватых пород наиболее высоки по сравнению со скачками напряжений при прохождении долотом других видов структурных элементов сложноструктурного массива. при бурении сложноструктурных пород с неизменными параметрами режима бурения снижается стойкость буровых долот в 2 и более раз.

В данном дипломном проекте предлагается разработка стенда для исследования динамических нагрузок подшипников качения шарошечных долот.

1 РЕЖИМЫ И УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ШАРОШЕЧНЫХ ДОЛОТ ПРИ БУРЕНИИ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН

Одним из основных способов подготовки горных пород к выемке на открытых горных работах является дробление пород взрывом. Поэтому существенное влияние на трудоемкость добычи и себестоимость полезных ископаемых, добываемых открытым способом, оказывают буровзрывные работы. Для успешного осуществления этих работ необходимо дальнейшее внедрение мощных и высокопроизводительных буровых станков с более совершенным буровым инструментом. К ним относят, прежде всего, станки шарошечного бурения, которыми выполняют основной объем бурения взрывных скважин. В качестве бурового инструмента на этих станках используются шарошечные долота. В небольших объемах используются режущие долота и коронки для пневмоударного бурения, имеется опыт использования комбинированных режуще-шарошечных долот, а также инструмента для огневого бурения. Техничко-экономические показатели процесса бурения взрывных скважин на карьерах в значительной степени зависят от конструкции бурового инструмента и соответствия его горнотехническим условиям.

Разные типы долот оказывают оптимальное разрушающее воздействие на соответствующие породы.

Долота типа К и ОК характеризуются ударным действием вооружения на разрушаемый забой. Шарошки долот имеют чистое качение по забою без проскальзывания, а вооружение состоит из цилиндрических твердосплавных зубков со сферической головкой.

Долота типа ТК и Т характеризуются ударно-скалывающим действием вооружения на разрушаемый забой. Шарошки этих долот имеют кинематические схемы, обеспечивающие чистое качение с небольшим проскальзыванием основного конуса по поверхности забоя. Поэтому твердосплавные и фрезерованные зубья наносят по забою удары с некоторым сдвигом по ходу вращения шарошек. Шарошечные долота типа Т и ТК образуют забой выпуклой формы.

Долота типа СТ и С характеризуются скалывающим действием вооружения на разрушаемые породы. Их шарошки имеют многоконусную форму самоочищающегося типа и работают по кинематической схеме, обеспечивающей качение со значительным проскальзыванием основных конусов шарошки вдоль поверхности забоя. Оси шарошек смещены относительно оси долота на 2–3 мм в зависимости от размеров долота, поэтому вооружение шарошек, состоящее из твердосплавных зубков и фрезерованных зубьев, наносит по забою наклонный удар со значительным сдвигом по ходу их вращения.

Шарошечные долота типа СТ и С образуют забой выпуклой формы. Для предохранения долот от износа по диаметру обратные конусы шарошек также наплавляются твердым сплавом релитом. Область применения твердых сплавов, из которых изготавливаются вставки-штыри бурового инструмента выпускаемые ОАО «Кировоградский завод твердых сплавов», приведены в таблице 1.1, где перечислены вольфрамокобальтовые сплавы: среднезернистые ВК-ВК и крупнозернистые ВК-КС. Цифровой индекс в обозначении марки сплава указывает на процентное содержание кобальта.

Особенности узлов шарошечных долот. Устройство шарошечного долота, подшипниковых узлов, а также номенклатура деталей долота с твердосплавными вставками и фрезерованными зубьями представлены на рисунке. 1.1 – 1.4.

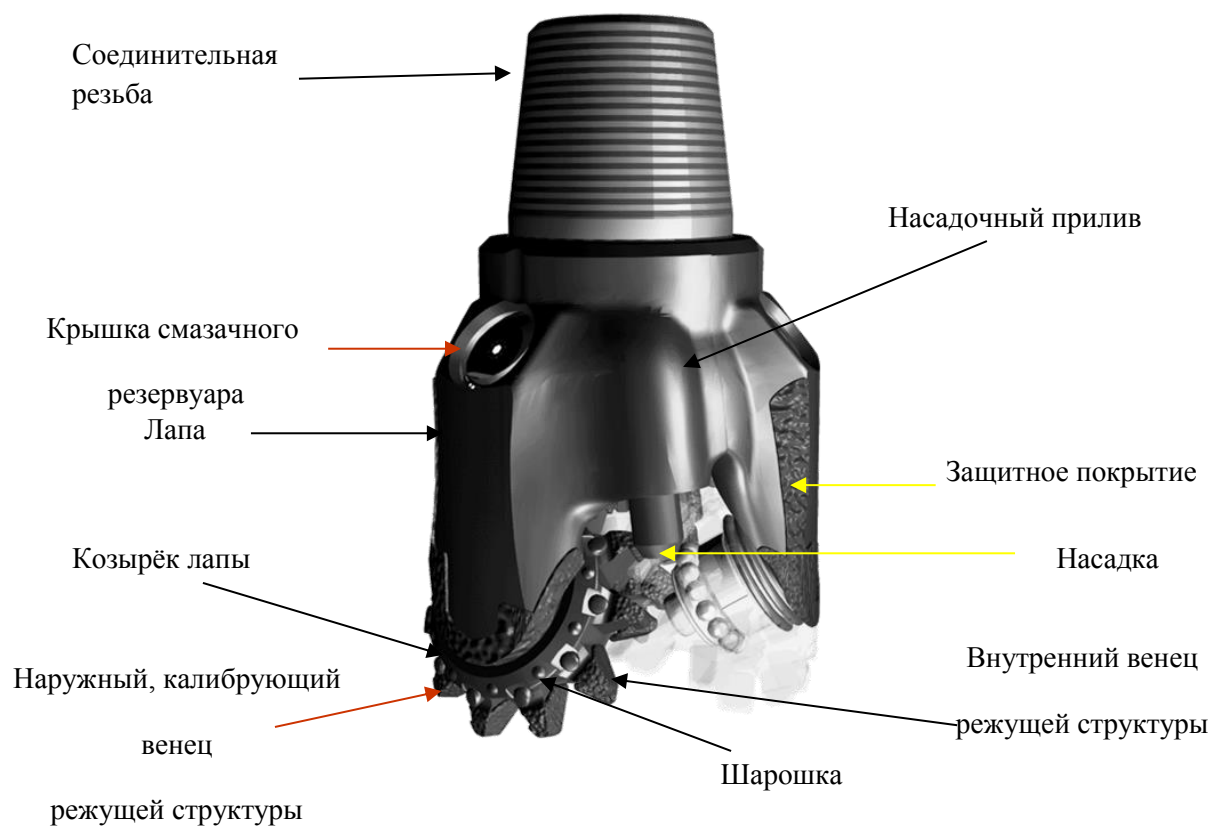


Рисунок 1.1 – Устройство шарошечного долота

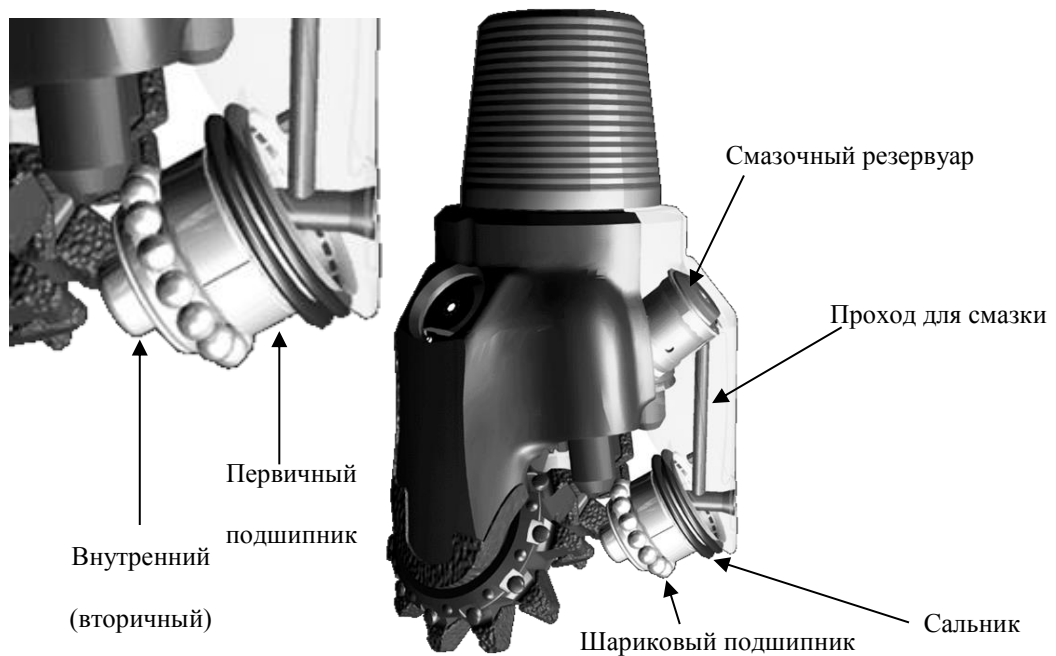


Рисунок 1.2 – Устройство подшипниковых узлов шарошечного долота

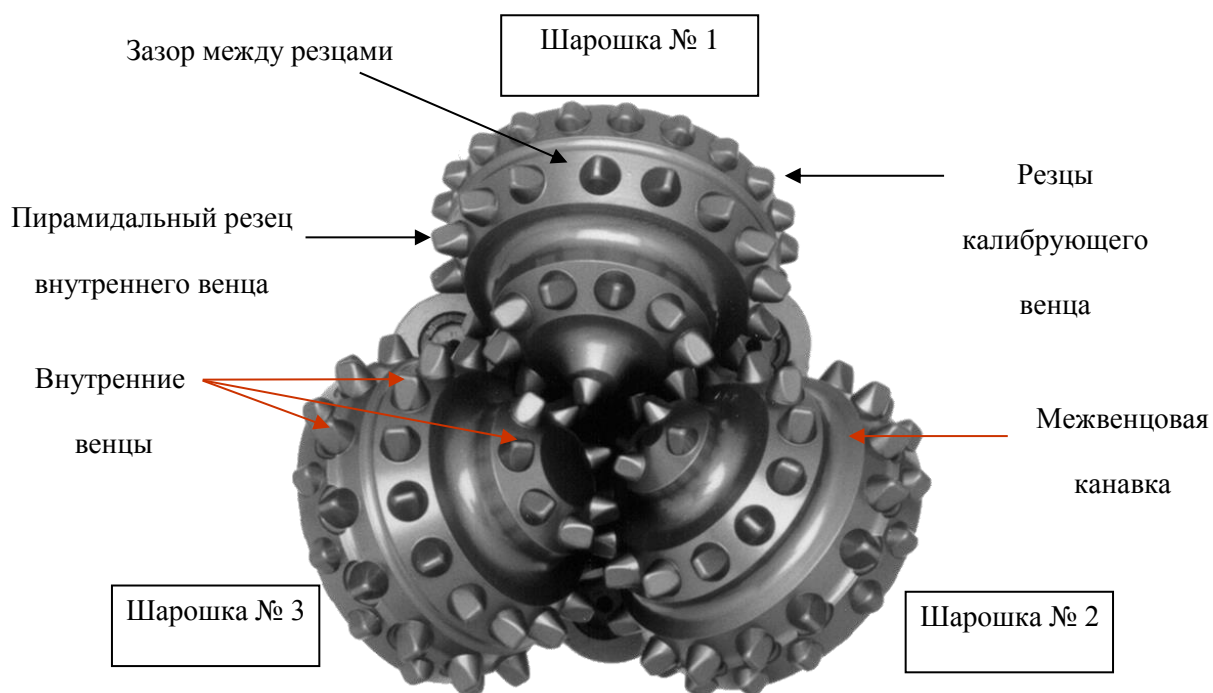


Рисунок 1.3 – Номенклатура деталей долота с твердосплавными вставками

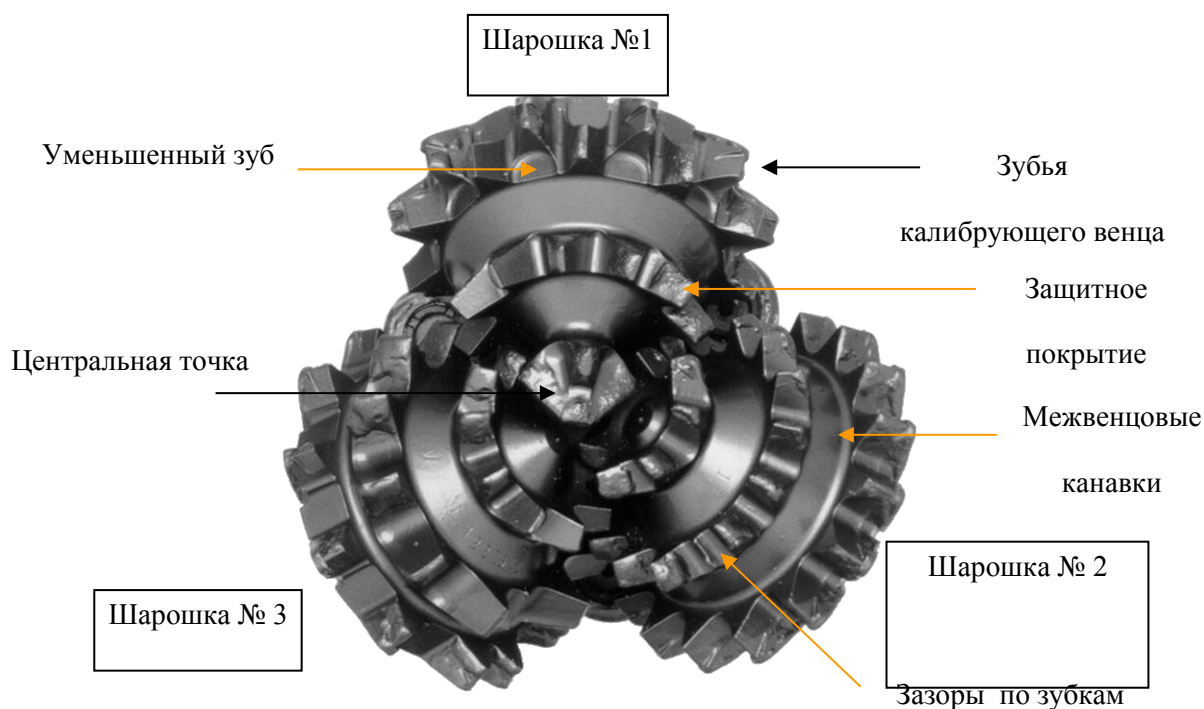


Рисунок 1.4 - Номенклатура деталей долота с фрезерованными зубьями

Для долот, предназначенных для бурения пород с различными физико-механическими свойствами, характерен различный угол наклона шарошек (рисунки 1.5, 1.6). Он определяется как угол между линией, перпендикулярной к оси шарошки и вертикальной осью долота.

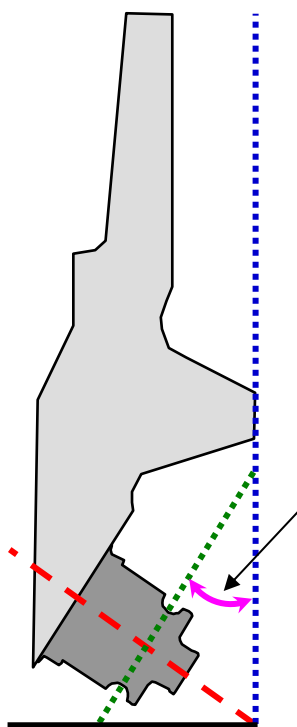


Рисунок 1.5 Угол наклона шарошек

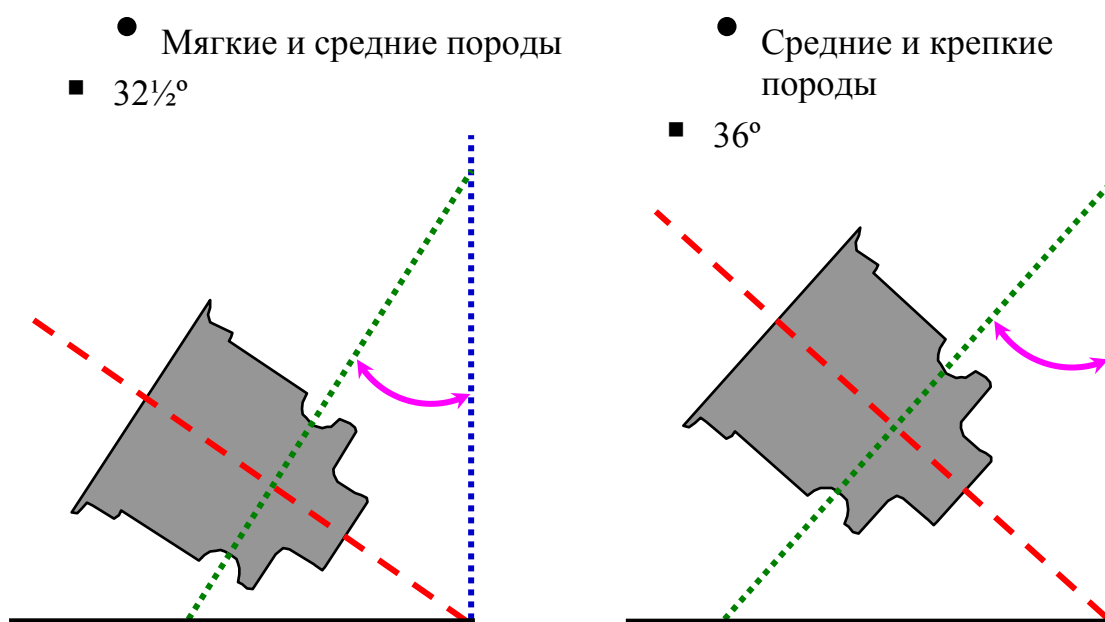


Рисунок 1.6 -Угол наклона шарошек – для мягких и крепких пород

Подшипниковые узлы. Основные типы подшипников – это роликовый и фрикционный (рисунок 1.7). Роликовый подшипник обычно используется в долотах большого диаметра. Его также называют подшипником низкого трения. Устройство подшипника качения представлено на рисунках 1.8, 1.9. Устройство подшипника скольжения представлено на рисунок 1.10, 1.11.

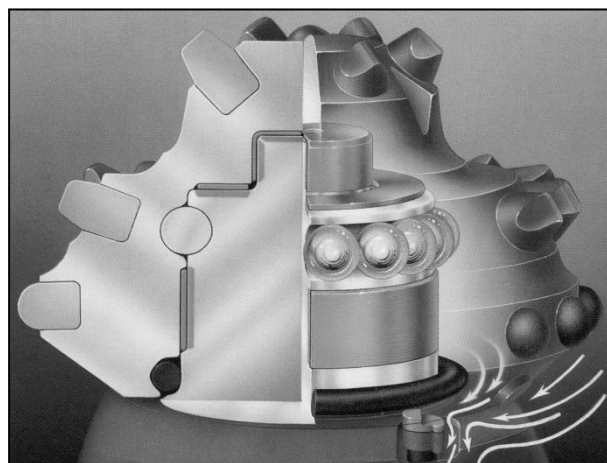
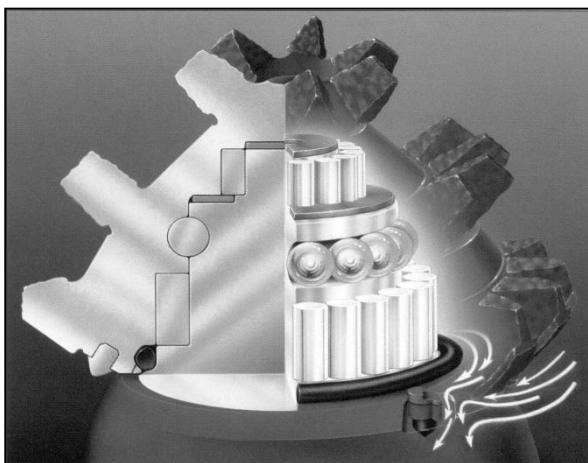


Рисунок 1.7 Подшипниковые узлы

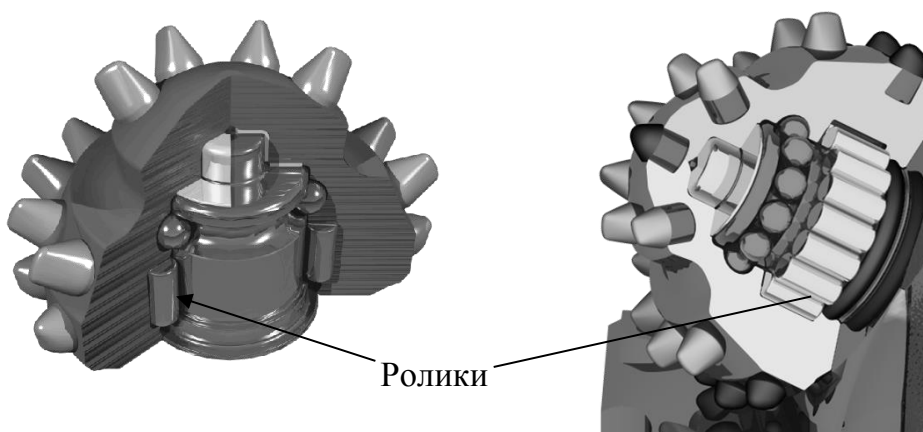


Рисунок 1.8 - Устройство опоры качения шарошки

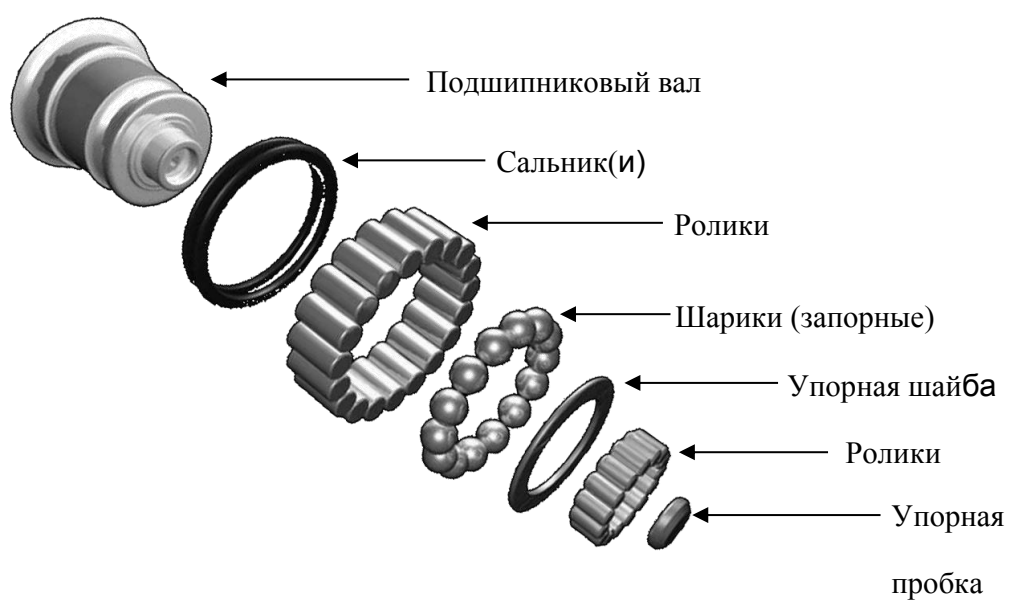


Рисунок 1.9 - Составные части роликового подшипника

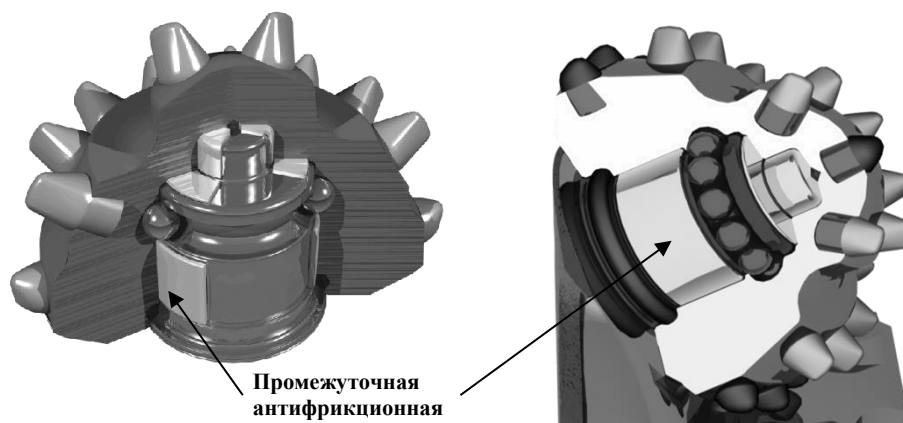
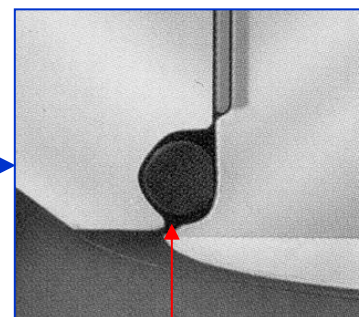
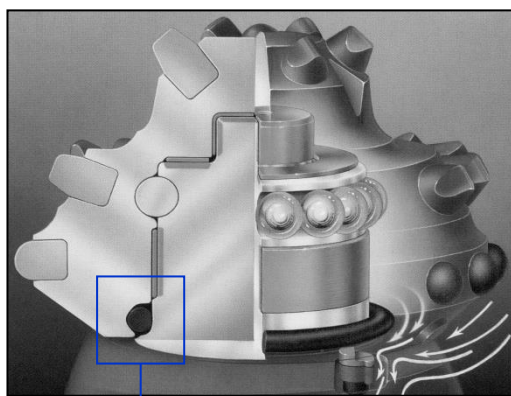


Рисунок 1.10 - Подшипник скольжения



Рисунок 1.11 – Составные части фрикционного подшипника

Для увеличения защиты от попадания абразивных частиц в подшипниковые узлы шарошки применяются сальниковые уплотнения (рисунок 1.12). Они имеют две основные функции: защита от проникновения посторонних частиц во внутреннюю полость подшипника и предотвращение потери смазки.



Шарошка-сальник – статика

Рисунок 1.12 – Расположение сальника в теле шарошки

Режущие структуры шарошечных долот имеют различные характеристики в зависимости свойств горной породы, количества венцов и зубьев. Режущие структуры шарошечных долот с твердосплавными вставками показаны на рисунке 1.13.



Очень мягкие



Мягкие



Средне-мягкие



Средне-твёрдые



Твёрдые



Очень крепкие



10 венцов / 92



11 венцов / 114



12 венцов / 120 резцов



12 венцов / 125



14 венцов / 144



17 венцов / 180 резцов

Рисунок 1.13 – Режущие структуры шарошечных долот

При бурении сплошным забоем горная поверхность разрушается, и образуется шлам с различной крупностью частиц. Для того чтобы избежать

повторного дробления шлама – шламовых подушек, увеличения ресурса зубьев и опор шарошечного долота, а также для получения максимальной механической скорости. Схема образования бурового шлама представлена на рисунок 1.14.

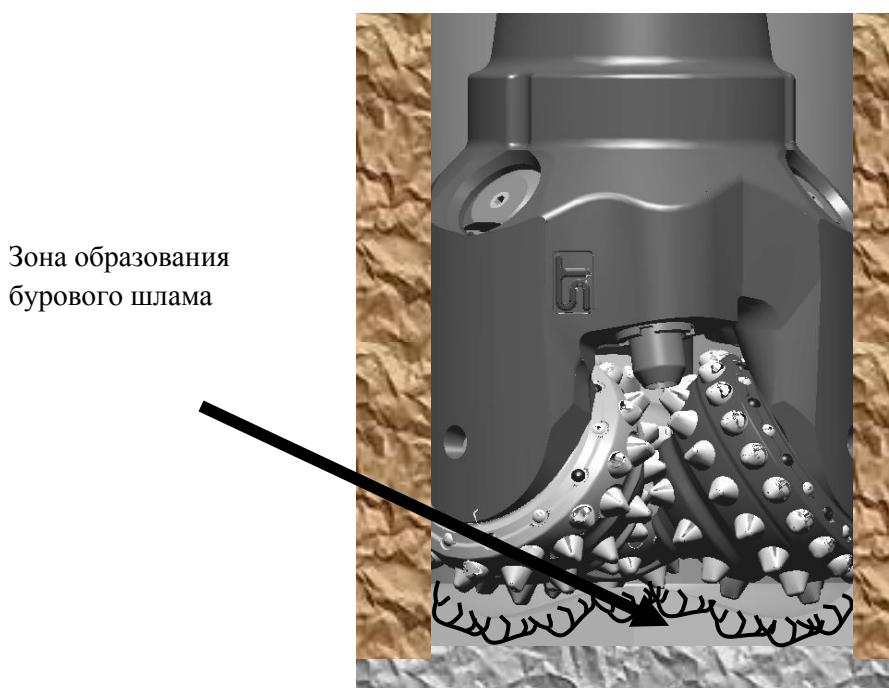


Рисунок 1.14 – Схема образования бурового шлама

Типичная картина кратера разрушения представлена на рисунок 1.15.

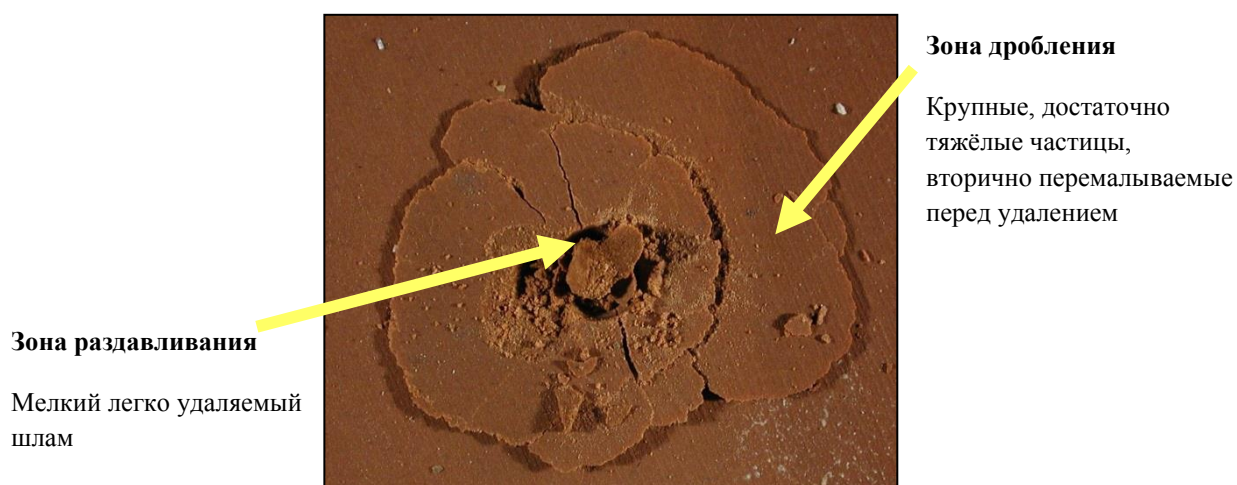


Рисунок 1.15 – Кратер разрушения горной породы при бурении шарошечным долотом

1.1 Особенности эксплуатации шарошечных долот в зависимости от применяемых материалов

Тяжелые горнотехнические условия работы инструмента (гидроабразивная среда, высокие режимные параметры) обуславливают делать выбор материала для изготовления каждого элемента долота дифференцированно [2].

В настоящее время существует множество заводов-изготовителей, предлагающих заказчику большое разнообразие инструмента. Доминирующим и зарекомендовавшим себя на рынке производителем шарошечных долот является ОАО «Волгабурмаш». Для изготовления долот различных типоразмеров на ОАО «Волгабурмаш» применяются разные стали (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Стали, применяемые для изготовления долот ОАО «Волгабурмаш»

Наименование деталей	Диаметр долота, мм	Марка стали	Номер технических условий
Шарошка	< 187,3 190,5 215,9-295,3 и более	311,1 17НЗМА-Ш 17НЗМА-ВД 16ХНЗМА-ВД 18ХНЗМА	3-938-75
			14-1-8-71
			14-1-8-71
			3-850-74
Лапы	< 187,3 190,5-295,3 и более	311,1 14ХНЗМА-Ш 14ХНЗМА-ВД 142НЗМА	3-938-75
			14-1-8-71
			3-850-74
Шары и ролики	всех размеров	55СМ5ФА-ШД	14-14-71

ГОСТ 26-021315-84 предусматривает для изготовления лап и шарошек долот достаточно широкий ассортимент сталей (таблица 1.2) [3].

В связи с тем, что одной из основных причин отказов шарошечных долот является износ подшипников шарошек [4,5], серьезное внимание при изготовлении бурового инструмента уделяется материалам для производства тел качения. Стали для них производятся методом электрошлакового переплава с последующей термической обработкой до получения твердости HRC = 54-58. Для изготовления подшипников качения шарошечных долот применяются стали, состав которых приведен в таблице 1.3.

Таблица 1.2 – Стали для изготовления лап и шарошек по ОСТ 26-02-1315-84

Наименование детали	Диаметр долота, мм	Марка стали	Номер ТУ
Шарошка	46,0-212,7	17НЗМА-ША	ТУ 3-938-79
	215,9-295,3	16ХНЗМА-Ш	ТУ 3-938-79
	311,1 и более	17ХНЗМА-Ш	ТУ 33859-80
Лапа	46,0-151,0	14ХНЗМА-Ш	ТУ 3-938-79
	158,7-212,7	22ХГНМА-Ш	ТУ 3-35-79
	215,9	22ХГНМА	ТУ 3-35-79
	222,3-295,3	14ХНЗМА-Ш	ТУ 3-938-79
	311,1 и более	22ХГНМА-Ш	ТУ 3-35-79
		14ХНЗМА 14Х2НЗМА	ТУ 3-850-80
Долото с опорой качения			
Шарошка	112,0-190,5	17НЗМА-Ш	ТУ 3-938-79
	215,9-295,3	16ХНЗМА-Ш	ТУ 3-938-79
	311,1 и более	16ХНЗМФА 18ХНЗМА	ТУ 3-195-83 ТУ 3-850-80
Лапа	112,0-190,5	14ХНЗМА-Ш	ТУ 3-938-79
	215,9-295,3	14ХНЗМА-Ш	ТУ 3-938-79
	311,1 и более	14ХНЗМФА	ТУ 33-19583
		14ХНЗМА 14Х2НЗМА	ТУ 3-850-80

Таблица 1.3- Химический состав сталей для изготовления тел качения, %

Марка стали	С	Мп	51	N1	Cr	Mo	5	P
55СМА	0,5-0,6	0,3-0,5	0,8-1,0	<0,3	<0,3	0,4-0,6	0,03	0,03
50ХН	0,45-0,55	0,5-0,8	<0,35	1,0-1,5	0,45-0,75	-	0,03	0,03
55СМА-1	0,53-0,6	0,3-0,6	0,8-1,0	<0,3	<0,3	0,4-0,6	0,025	0,025
55СМ5ФА								
-Ш-Д	0,53-0,6	0,3-0,6	0,5-1,1	<0,3	<0,3	0,4-0,6	0,015	0,025

На практике наиболее широко используют сталь 55СМ5ФА-Ш-Д, выплавляемую с использованием электрошлакового и вакуумно-дугового переплава. Ролики из этой стали термо обрабатывают до твердости HRC = 55-57, а шарики - до твердости HRC - 54-56. Тела качения сортируют по группам с разноразмерностью в одной группе для роликов 0,01 мм, для шариков 0,005 мм.

Для повышения долговечности вооружения бурового инструмента применяют твердые сплавы. Фрезерованные зубья шарошечных долот для предотвращения абразивного изнашивания наплавляют твердым сплавом: релитом «З» зерновым (при наплавке с нагревом током высокой частоты) или релитом «ТЗ» трубчато-зерновым (при наплавке ацетиленокислородным пламенем). Вооружение штыревых шарошечных долот осуществляется зубками из металлокерамического твердого сплава.

Твердосплавные зубки запрессовывают в тело шарошки с определенным натягом. Зубки имеют три основные разновидности, в соответствии с ГОСТ 880-75: зубки формы Г-26 с полусферической формой рабочей поверхности, изготавливаются из твердого сплава ВК8К; зубки формы Г-25 с клиновидной головкой, изготавливаются из твердого сплава ВК11ВК, и зубки формы Г-54 цилиндрические для армирования тыльного конуса шарошек и спинок лап и клиновые наклонные для шарошечных долот специального назначения. Эти зубки изготавливают из твердых сплавов ВК4В и ВК6В [10,11- 14].

В настоящее время в России эксплуатируются шарошечные долота для горнорудной отечественного производства ОАО «Волгабурмаш», ОАО «Уралбурмаш», ряда новых заводов, Дрогобычского завода (Украина). В последнее десятилетие на российском рынке стали появляться долота иностранных фирм (таблица 1.4). Сравнительный ряд шарошечных долот приведен в таблице 1.5 [6].

Таблица 1.4 – Шарошечные долота иностранных фирм

Другие фирмы	Долота производства САНДВИК							
	TSS	TS	TM	TH	CSS	CS	CM	CH
Бейкер Хьюз	TS	TM	TH	TVH	BH50	BH60	BH 70	BH 80
Секьюрити	S3S	S4T	M4H	H7	SS6M SS8M	S8M M8M	H8M	H10M
Смит	QSS	QM	QM	QH	Q2J Q3J	Q4J Q5J	Q7J	Q9J
Варел	V3S V3M	V2	VH2	VH1	QMC9 QMC7	QMC77 QMC78	QMC6 QMC6S	QMCH QMC3
Томсон	T4	T3	T2	T1-H	S,E,52-54	S,E,56-57	S,E,58	S,E,59
Уокер Макдоналдс	M3	M2	M1	M1H	M51 M52	M53 M62	M72 M74	M81 M83
Цукамото (TSK)	3SS	MH	3MH	3HS	A-30	A-40	A-60 A-70	A-80 A-90

Шарошечные долота эксплуатируются в крайне тяжелых горнотехнических условиях (гидроабразивная среда, высокие режимные параметры).

Таблица 1.5 – Сравнительный ряд шарошечных долот

Тип долота		Горные породы			Классификация профессора Протодяконова		
Сандвик 1	СНГ	Прочность, Мпа	Коэффициент абразивности	Буримость	Крепость	Степень крепости	Коэффициент крепости
Фрезерованные зубья							
TSS	M	15-20	1.5<	I- III	VIA	мягкие	1.0-1.5
TSS	M3	20-30	1.5<	II- III	VI	мягкие	1.5-2.0
TSS	MC	30-40	1.5<	III- IV	VA	довольно мягкие	2.0-3.0
TSS/TS	MC3	40-50	1.7<	IV	V	довольно мягкие	3.0-4.0
TS	C	50-60	1.7<	IV-V	V-IVA	средней крепости	4.0
TS/TM	C3	60-70	2.0<	IV-V	IVA-IV	средней крепости	4.0-5.0
TM	CT	70-80	2.0<	V - VI	IV-IIIА	довольно крепкие	6.0
TH	T	80-90	2.0<	VI-VII	III	довольно крепкие	7.0-8.0
Твердосплавные вставные зубки							
CSS3-CS3	T3	70-90	>3.0	VI-VII	III	крепкие	7.0-8.0
CSS1-CS1	TK	90-110	1.0<	VI-VIII	III-П	крепкие	8.0-10.0
CSS2-CS2			2.0<				
CSS3-CS3			3.0<				
CS1-CM1	TK3	110-150	1.0<	VII-IX	III-П	весьма крепкие	10.0-12.0
CS2-CM2			2.0<				
CS3-CM3			3.0<				
CM1- CMH1	K	150-210	1.0<	IX-X	II	очень крепкие	12.0-15.0
CM2- CMH2			2.0<				
CM3- CMH3			3.0<				
CMH1	OK	210-270	1.0<	XI-XII	I	чрезвычайно крепкие	15.0-18.0
CMH2			2.0<				
CMH3			3.0<				
CH1	OK	270-600	1.0<	XI-XII	I	чрезвычайно крепкие	18.0-20.0
CH2			2.0<				
CH3			3.0<				

Факторами, определяющими рациональный режим бурения, являются осевые усилия на долото, частота вращения инструмента и условия удаления разрушенной породы из забоя скважины. Режимные параметры зависят не только от крепости породы, но и от типа и диаметра долота [7-9].

Для шарошечных буровых долот отечественного производства эта зависимость представлена в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Рекомендуемые параметры режима бурения шарошечными долотами третьего поколения

Диаметр долота, мм	Наружный диаметр бурильных труб, мм	Осевое усилие на долото, кН		Частота вращения, с ⁻¹		Расход продувочного агента	
		М,С, Т,ТК	МЗ,ТЗ, К,ОК	М,С, Т,ТК	МЗ, ТЗ, К, ОК	сжатый воздух, м³/с	воды*, дм³/с
Долота на подшипниках качения *							
146	89-114	60-80	80-100	2,5-2	2-1	0,16-0,2	-
161	127	100-130	130-150	2,5-2	2-1	0,25	-
215,9	180	140-180	160-200	2,5-1,3	2-0,83	0,42	<0,02*
244,5	203	180-220	180-250	2,5-1,3	2-0,83	0,42-0,53	<0,03
269,9	219	200-270	250-300	2,5-1,3	2-0,83	0,6-0,7	<0,05
320	273	<350	<500	2,5-1,3	2-0,83	0,83-1,0	<0,06
Долота на подшипниках скольжения							
76	63,5	<30	<40	<2,5	<2	0,15	<0,01
98,4	73	<40	<60	<2,5	<2	0,15	< 0,02»
112	89	<50	<80	2,5-1,7	2,5-1,0	0,15	< 0,02*
146	89-114	<80	<120	2,5-1,0	2,5-1,0	0,15	<0,03
161	127	120-140	130-150	2-1,0	1,7-1,0	0,25	<0,03
215,2	180	160-200	160-220	2-1,0	1,7-0,83	0,42	<0,05
244,5	203	200-250	220-270	2-1,0	1,7-0,83	0,42-0,53	<0,05
269,9	219	220-270	250-320	2-1,0	1,7-0,83	0,6-0,7	<0,06

Примечания. 1. Верхние пределы осевых усилий на долото соответствуют нижним пределам частот вращения долот. 2. В высшей степени крепких абразивных или сильнотрещиноватых породах частоту вращения рекомендуется уменьшать до 1 с⁻¹. 3. По мере изнашивания вооружения шарошек долот М, С, Т, ТК необходимо постепенно увеличивать осевое усилие до верхнего предела. *Продувка воздушно-водяной смесью.

Для зарубежных шарошечных долот (фирма «Бейкер-Хьюс», США) рекомендуемые режимные параметры незначительно отличаются от режимных параметров, рекомендуемых для эксплуатации отечественного бурового инструмента (таблица 1.7).

Стоимость буровых работ вскрыши и добыче полезных ископаемых Горевском горно-обогатительном комбинате приведена в таблице 1.8.

Таблица 1.7 – Рекомендуемые режимные параметры для трехшарошечных долот фирмы «Бейкер-Хьюс» (США)

Вид вооружения и тип долота	Тип буримой породы формации		Допустимые на долоте	
			нагрузка, кН/мм	частота вращения, мин ⁻¹
Фрезерованный зубец	S	Мягкая, слабоабразивная	0,18-0,54	120-70
	M	Средней крепости и абразивности	0,22-0,9	100-60
	H	Твердая, среднеабразивная	0,72-1,26	80-40
Твердосплавный зубец	BH50	Довольно мягкая, слабоабразивная	0,18-0,72	150-50
	BH60	Средней крепости и абразивности	0,36-0,9	120-50
	BH70	Абразивная, средней крепости и крепкая	0,54-1,08	90-50
	BH80	Очень крепкая и крепкая	0,90-1,44	80-50

Таблица 1.8 – Себестоимость буровых работ по добыче полезного ископаемого на Горевском Горно-обогатительном комбинате.

№ п/п	Наименование статей	Сумма затрат, руб.	Стоимость 1 пог. м, руб./м	Доля затрат, %
1	Зарплата	5343603	27,94	12,20
2	Амортизация	10000500	52,3	22,84
3	Электроэнергия	6356645,28	33,24	14,52
4	Смазочные материалы	10971,98	0,06	0,03
5	Шарошечные долота	20070000	104,95	45,84
6	Ремонт оборудования	2000100	10,46	4,57
Итого:		43781820,26	228,95	100

В таблице 1.9 приведены основные причины отказов вращающегося оборудования.

Таблица 1.9 – Причины отказов вращающегося оборудования

1 Дефекты изготовления	2-10 %
2 Естественный износ	5-25 %
3 Дефекты монтажа	10-50 %
4 Ошибки при текущем обслуживании и ремонте	10-50 %
5 Эксплуатация с нарушением требований ТУ	5-70 %

Шарошечные долота являются дорогостоящим инструментом с разным сроком службы его элементов, а доля затрат на бурение и буровой инструмент составляют 20 - 40 %, а в отдельных условиях превышают 50 %. Поэтому стали появляться в продаже шарошечные долота иностранных производителей, например, США, но большим спросом пользуются отечественные.

1.2 Исследование нагрузок, действующих на буровой инструмент при бурении сложноструктурных породных массивов

В процессе работы буровой инструмент сталкивается с пластами горной

породы, имеющими разные мощность и физико-механические свойства Рудное тело представляет собой пластообразную залежь, протягивающуюся по простиранию на 600 м при мощности от 20 до 80 м, по классификации проф. М.М. Протодяконова руды и вскрышные породы месторождения относятся к довольно крепким, крепким и очень крепким ($f = 8 - 18$) (рисунок 1.16).

Крепость по данной шкале находится в прямой зависимости от предела прочности горной породы при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$ [2]:

$$f = \frac{\sigma_{сж}}{100},$$

где f – коэффициент крепости по шкале Протодяконова; $\sigma_{сж}$ – предел прочности горной породы при одноосном сжатии, МПа.

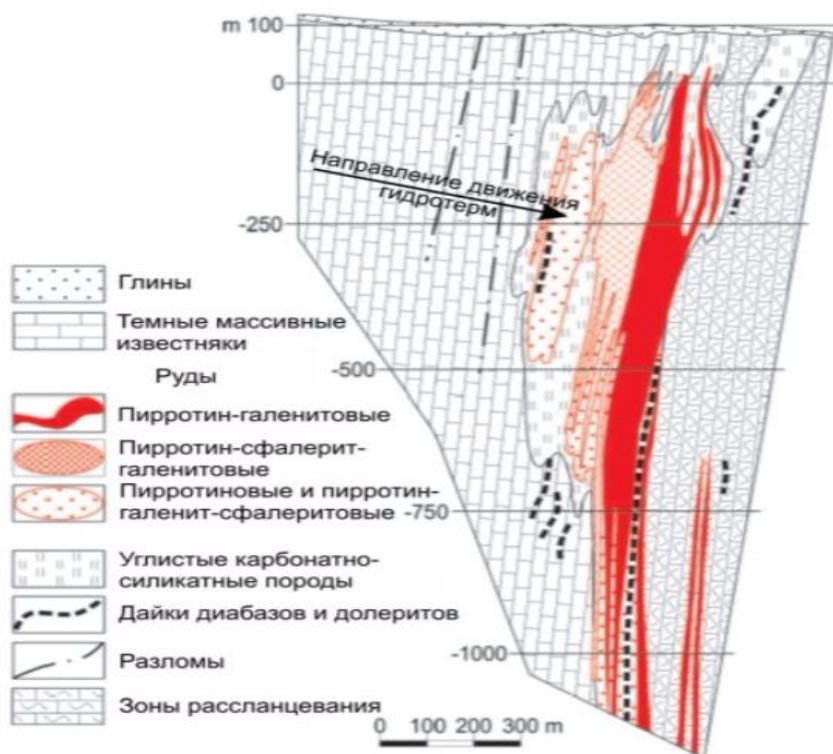


Рисунок 1.16 - Общий разрез Горевского месторождения.

При разрушении горной породы шарошечным долотом кроме одноосного сжатия присутствуют сдвиговые напряжения. Кроме того, на процесс бурения влияет также плотность горной породы. В связи с этим более полно сопротивление горной породы разрушению отражает показатель буримости [12].

Бурение горной породы с чередующимися слоями, имеющими разную

крепость, характеризуется возникновением ударной нагрузки. Удар, как правило, вызывает повышение напряжения в зонах контакта бурового инструмента с породой, в подшипниковых узлах и соединительных элементах всего рабочего органа бурового станка. Буровой инструмент выходит из строя при разрушении различных его элементов. Однако в 80 % случаев шарошечный буровой инструмент отказывает в работе по причине разрушения подшипниковых узлов [6].

Средние нагрузки, как показывает практика, с достаточной точностью соответствуют расчетным значениям усилий и мощности машины. Однако для эффективной эксплуатации горных машин необходимо знать зависимость их мгновенной нагрузки от определяющих факторов. Неравномерность мгновенной нагрузки определяется как случайная функция времени. Предугадать колебания нагрузки полностью невозможно даже при наличии подробного анализа структуры породы. Так или иначе, но возникают случайные включения породы разной крепости, которые незначительно влияют на теоретическую скорость проходки. Но на практике данные включения обязательно влияют не только на скорость бурения, но и на напряженное состояние бурового инструмента. В частности, периодическое возникновение ударов создает циклическую нагрузку, что приводит к усталостному разрушению элементов инструмента.

Для оценки опасности ударных нагрузок необходимо определить уровень напряжения, возникающего при ударе. Ударная нагрузка, с одной стороны характеризуется уровнем энергии, которая обеспечивает продвижение бурового инструмента через горную породу. С другой стороны, ударная нагрузка характеризуется изменением физико-механических свойств породы. Таким образом, уровень энергии, которая обеспечивает продвижение бурового инструмента через горную породу, характеризуется мощностью, передаваемой от привода подачи к рабочему органу и буровому инструменту,

$$N = \frac{A}{t} = \frac{\Delta E}{t} = \frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2t}, \quad (1.1)$$

где N – мощность, передаваемая от привода подачи к буровому инструменту бурового станка с учетом КПД привода подачи, Вт; ΔE – изменение кинетической энергии при продвижении бурового инструмента через породу, Дж; m – эквивалентная масса, характеризующая массу рабочего органа и энергию подающего привода, кг; v_1, v_2 – скорости равномерного продвижения бурового инструмента при бурении породы 1 и 2 с соответствующими физико-механическими свойствами, м/с (здесь порода 2 имеет показатель буримости больше чем порода 1); t – время переходного процесса, т. е. период, за который скорость подачи бурового инструмента изменяется от значения 1 до значения 2 (рисунок 1.17).

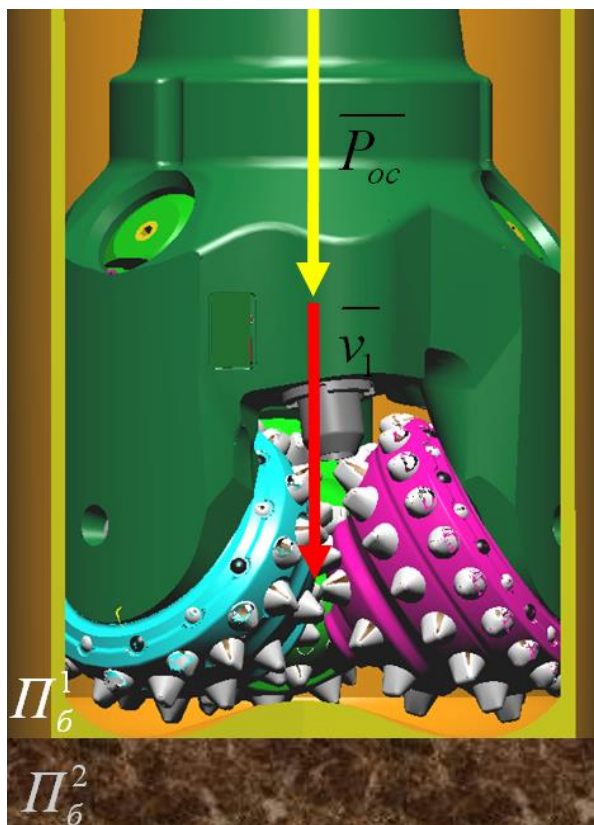


Рисунок 1.17 – Схема бурения трехшарошечным долотом при переходе бурового инструмента на слой горной породы с большим показателем буримости $\Pi_б^2 > \Pi_б^1$. P_{oc} – осевое усилие, v_1 – скорость бурения породы с показателем буримости $\Pi_б^1$.

Изменение скорости продвижения бурового инструмента через горную породу при переходе на породу с большим показателем буримости характеризует дополнительное напряжение, возникающее при ударе,

$$\sigma_{\text{уд}} = \frac{F}{S} = \frac{m(v_2 - v_1)}{S \cdot t}, \quad (1.2)$$

где $\sigma_{\text{уд}}$ – напряжение, возникающее в металле при ударе, МПа; S – площадь контактной поверхности в подшипниковых узлах или других элементах, воспринимающих полностью нагрузку удара, мм².

Выразив эквивалентную массу из уравнений (1.1) и (1.2), приравняв их и определим напряжение, возникающее при переходе бурового инструмента на породу с более высоким показателем буримости:

$$\sigma_{\text{уд}} = \frac{(v_2 - v_1)}{S \cdot t} \cdot \frac{2N \cdot t}{(v_2^2 - v_1^2)},$$

или

$$\sigma_{\text{уд}} = \frac{2N}{S \cdot (v_2 + v_1)}.$$

С учетом выражения

$N = P_{\text{ос}} \cdot v_1$, предложенного проф. Р. Ю. Подэрни [10], получим

$$\sigma_{\text{уд}} = \frac{2P_{\text{ос}} \cdot v_1}{S \cdot (2v_1 - \Delta v)}, \quad (1.3)$$

где $P_{\text{ос}}$ – осевое усилие, Н; Δv – изменение скорости при переходе бурового инструмента на более крепкую породу, м/мин; v_1 – скорость бурения до перехода бурового инструмента на более крепкую породу.

Согласно работе [13] максимальное напряжение в ролике подшипника качения

$$\sigma_{\text{р}}^{\text{max}} = 600 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_r}{z \cdot D_{\text{р}} \cdot L_{\text{р}}}}.$$

Максимальное напряжение в шарике подшипника качения

$$\sigma_{\text{ш}}^{\text{max}} = 1800 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_r}{z \cdot D_{\text{ш}}^2}},$$

где F_r – радиальное усилие, прилагаемое к подшипнику, Н; z – количество

тел качения в подшипнике; D_p – диаметр ролика, мм; L_p – длина ролика, мм; $D_{ш}$ – диаметр шарика, мм.

Тогда напряжение в ролике подшипника качения шарошки, возникающее при ударе с учетом выражения (1.3),

$$\sigma_{p.уд.}^{max} = 600 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_r}{z \cdot D_p \cdot L_p} \cdot \frac{2v_l}{2v_l - \Delta v}} \quad (1.4)$$

Напряжение в шарике подшипника качения шарошки, возникающее при ударе,

$$\sigma_{ш}^{max} = 1800 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_r}{z \cdot D_{ш}^2} \cdot \frac{2v_l}{2v_l - \Delta v}} \quad (1.5)$$

Скорость бурения находим из выражения [46]:

$$v = \frac{P_{ос} \cdot n_{вр}}{5\Pi_6 \cdot D_1^2}, \text{ м/мин},$$

где $P_{ос}$ – осевое усилие, МН; $n_{вр}$ – частота вращения бурового става, c^{-1} ; D_1^2 – диаметр долота, м.

$$\Pi_6 = 0,07 \cdot (\sigma_{сж} + \sigma_{сдв}) + 0,7\gamma,$$

где Π_6 – показатель буримости; $\sigma_{сж}$ – предел прочности горной породы при одноосном сжатии, МПа; $\sigma_{сдв}$ – предел прочности горной породы при сдвиге, МПа; γ – плотность горной породы, $т/м^3$.

Предел прочности горной породы при сдвиге приблизительно определяется из выражения:

$$\sigma_{сдв} = 0,5 \cdot \sqrt{\sigma_{сж} \cdot \sigma_p}, \text{ МПа},$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности горной породы при растяжении, МПа; σ_p – предел прочности горной породы при растяжении, МПа.

Если необходимо найти скорость бурения до удара v_l , то в расчете необходимо использовать показатель буримости породы, расположенной до перехода бурового инструмента на более крепкую породу.

Затем с учетом полученных выражений (1.4) и (1.5) были построены

зависимости напряжения, возникающего в роликах опор качения трехшарошечного долота от удара, вызванного изменением физико-механических свойств породы и характеризуемого разностью скорости бурения соответствующих слоев породы (рисунок 1.18).

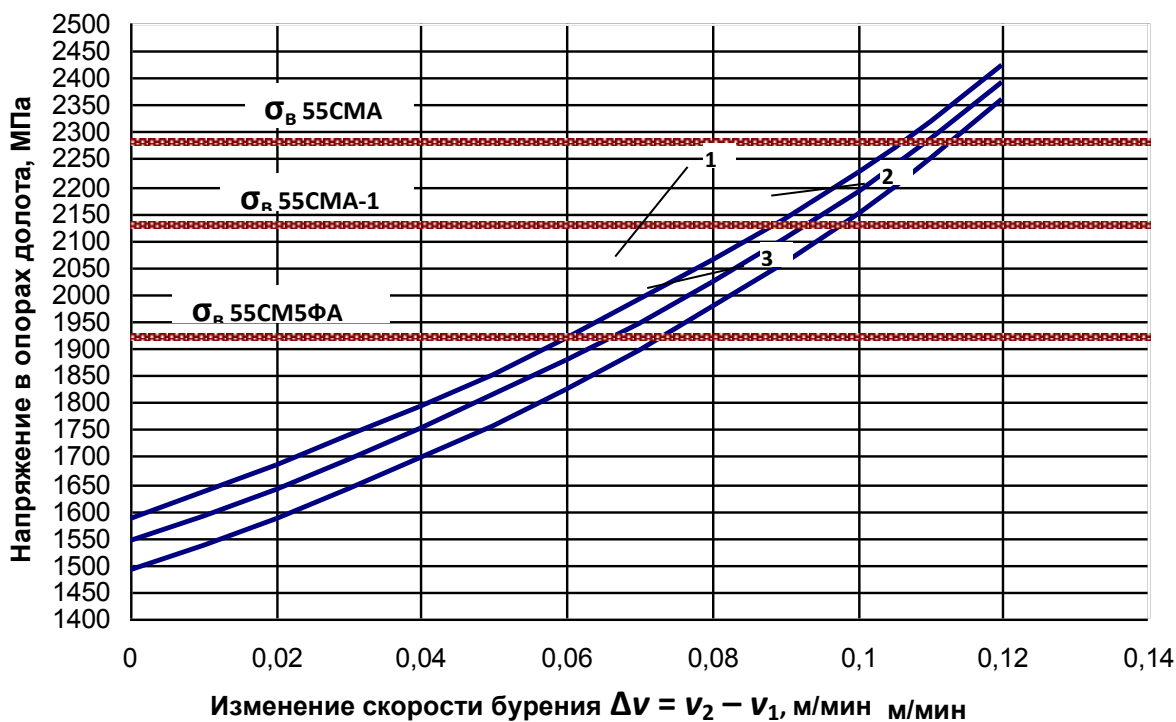


Рисунок 1.18 - Напряжение в роликах опор качения шарошек: 1 — напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 215,9 мм при осевом усилии 160 кН; 2 — напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 244,5 мм при осевом усилии 200 кН; 3 — напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 269,9 мм при осевом усилии 235 кН (минимальное напряжение соответствует бурению породы без ударов; кривые строились с показателем буримости 7,5; горизонтальные прямые показывают величину предела прочности при сжатии сталей 55СМ5ФА, 55СМА-1, 55СМА)

Выразим напряжение в опорах качения, возникающее при ударе через показатель буримости

для роликовых тел качения

$$\sigma_{p.уд}^{max} = 600 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_r}{z \cdot D_p \cdot L_p}} \cdot \frac{2\Pi_6^I + 2\Delta\Pi_6}{2\Pi_6^I + \Delta\Pi_6}; \quad (1.6)$$

где Π_6 – показатель буримости.

С использованием выражения (1.6) построены зависимости напряжения в роликах опор качения трехшарошечного долота, возникающего при ударе от величины изменения показателя буримости (рис. 1.19, 1.20).

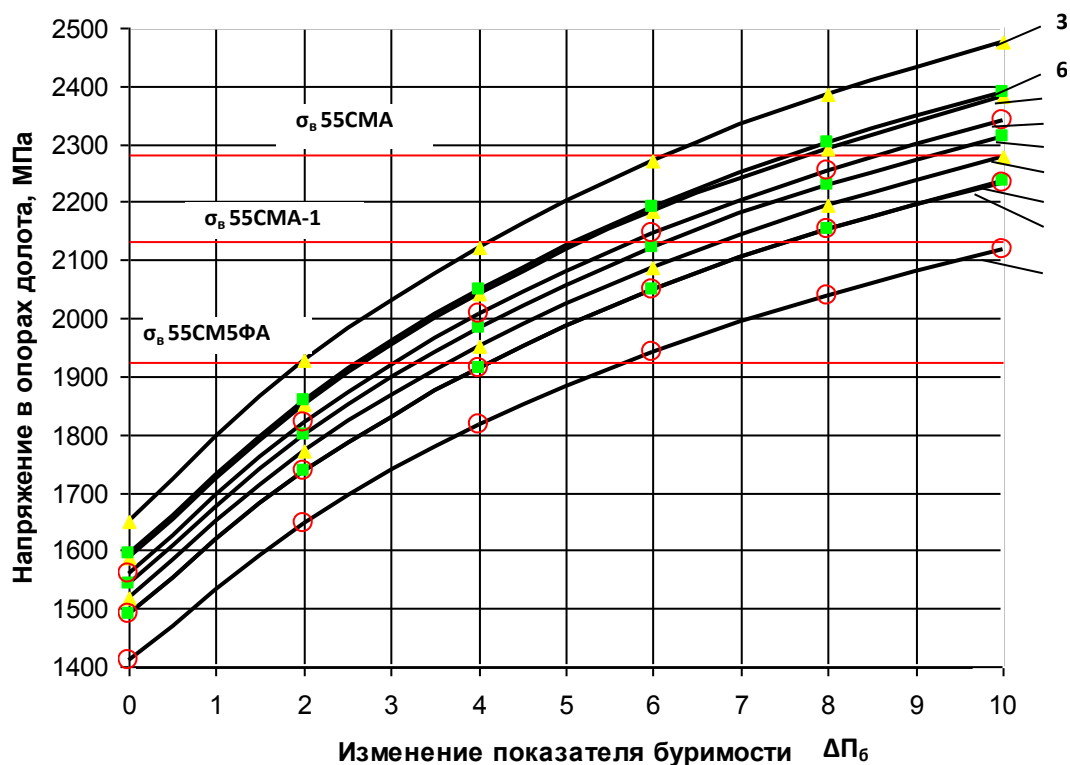


Рисунок 1.19 - Напряжения в роликах опор качения шарошек: кривые 1–3 – напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 215,9 мм при осевом усилии 140, 160 и 180 кН; 4–6 – напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 244,5 мм при осевом усилии 180, 200, 220 кН; 7–9 – напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 269,9 мм при осевом усилии 200, 235, 270 кН

Минимальное напряжение (рис. 1.19) соответствует бурению породы без ударов. Кривые построены с показателем буримости $\Pi_6 = 5$. Горизонтальные прямые показывают величину предела прочности при сжатии сталей 55CM5ФА, 55CMA-1, 55CMA.

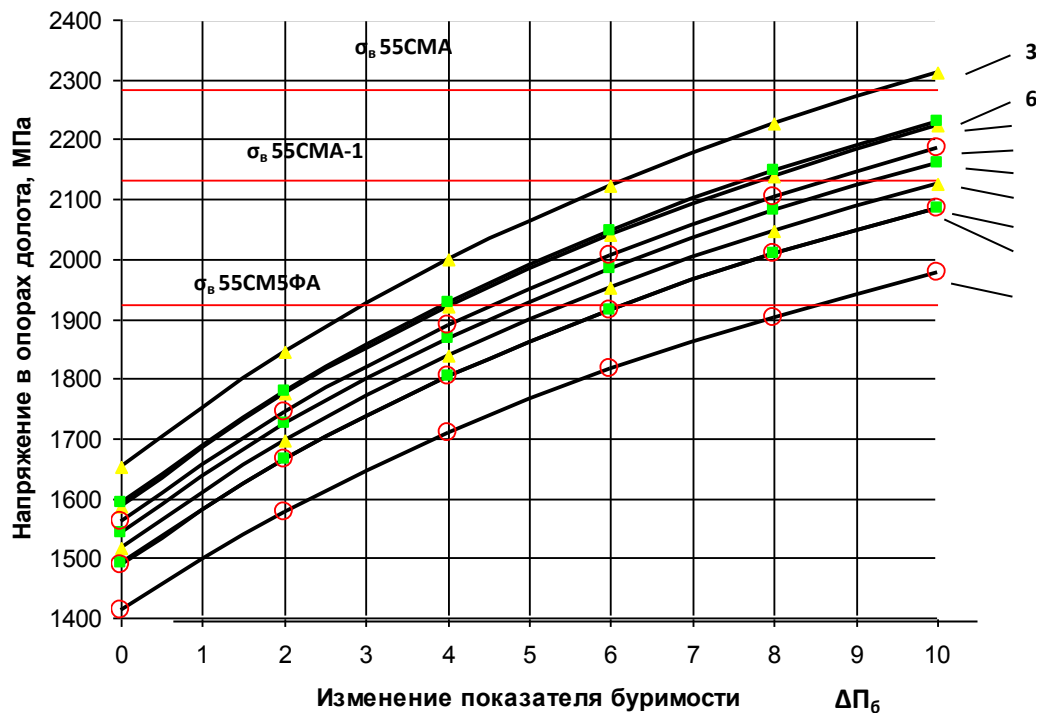


Рисунок 1.20 - Напряжения в роликах опор качения шарошек: кривые 1–3 – напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 215,9 мм при осевом усилии 140, 160 и 180 кН; 4–6 – напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 244,5 мм при осевом усилии 180, 200, 220 кН; 7–9 – напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 269,9 мм при осевом усилии 200, 235, 270 кН

Минимальное напряжение (рисунок 1.21) соответствует бурению породы без ударов. Кривые построены с показателем буримости $P_b = 7,5$. Горизонтальные прямые показывают величину предела прочности при сжатии сталей 55СМ5ФА, 55СМА-1, 55СМА.

При нагружении шарошечного долота с тремя шарошками основную нагрузку воспринимают роликовые подшипники. Шариковые подшипники выполняют роль запирающего механизма. Тела качения в шарошечных долотах изготавливают из высокопрочных конструкционных сталей, как правило, содержащих кремний и молибден. Их предел прочности находится в диапазоне 1 900 – 2 300 МПа. Механические свойства данных сталей значительно зависят от режимов термической обработки. На рисунках 1.18 – 1.20 показаны пределы

прочности сталей, из которых изготавливаются тела качения шарошечных долот.

При условии бурения горной породы с показателем буримости $P_6 = 5$ (рисунок 1.20) и среднем подающем усилии максимально допустимая величина изменения показателя буримости породы $[\Delta P_6]$ для сталей 55СМ5ФА; 55СМА-1; 55СМА будет следующей: для долот диаметром 215,9 мм $[\Delta P_6] = 2,5; 5; 7,5$; для долот диаметром 244,5 мм $[\Delta P_6] = 3,3; 6,2; 9,2$; для долот диаметром 269,9 мм $[\Delta P_6] = 4,2; 7,5; >10$.

При условии бурения горной породы с показателем буримости $P_6 = 7,5$ (рис. 1.22) и среднем подающем усилии максимально допустимая величина изменения показателя буримости породы $[\Delta P_6]$ для сталей 55СМ5ФА; 55СМА-1; 55СМА будет следующей: для долот диаметром 215,9 мм $[\Delta P_6] = 4; 8; >10$; для долот диаметром 244,5 мм $[\Delta P_6] = 5; 9,2; >10$; для долот диаметром 269,9 мм $[\Delta P_6] = 6,2; >10; >10$.

В связи с представленными результатами можно сделать следующие выводы:

- при бурении сложноструктурных пород, имеющих слои с разными показателями буримости, напряжение в различных элементах бурового инструмента зависит от первоначального уровня показателя буримости и величины прироста показателя буримости. Увеличение напряжения возникает при переходе на более крепкую породу и достигает до 50 % и более;

- увеличение напряжения зависит от отношения прироста показателя буримости к первоначальному значению показателя буримости. При условии одинакового прироста показателя буримости напряжение будет больше в том случае, если первоначальное значение показателя буримости было меньше.

- предел прочности материала тел качения шарошечных долот при бурении сложноструктурных пород должен быть на 50 % больше напряжения, возникающего в телах качения шарошечных долот при бурении породы с неизменным значением показателя буримости 5–7,5.

1.3 Исследование нагрузок, действующих на буровой инструмент при бурении сложноструктурных породных массивов.

В процессе работы буровой инструмент сталкивается с пластами горной породы, имеющими разные мощность и физико-механические свойства. Так, структура горных пород Черногорского угольного разреза состоит из пластов мощностью от 0,45 м до 6 м, имеющих диапазон крепости от 2 до 10 по шкале проф. М. М. Протодяконова (рис. 1.21).

Крепость по данной шкале находится в прямой зависимости от предела прочности горной породы при одноосном сжатии $\sigma_{сж}$ [2]:

$$f = \frac{\sigma_{сж}}{100},$$

где f – коэффициент крепости по шкале Протодяконова; $\sigma_{сж}$ – предел прочности горной породы при одноосном сжатии, МПа.

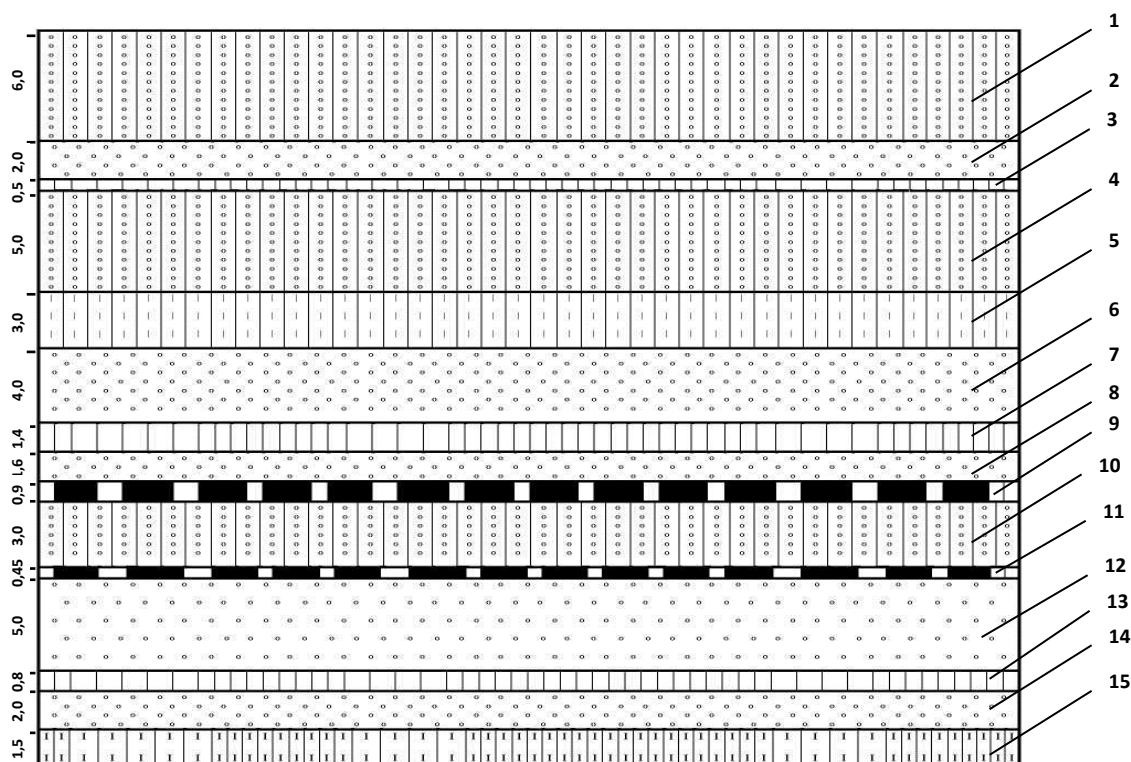


Рис. 1.21. Структура горных пород Черногорского угольного разреза: 1 – слоистые алевролиты, песчаники (за счет многочисленных прослоев алевролита тон всего слоя темно-серый), $f = 6-8$; 2 – песчаник массивный, среднезернистый, $f = 8-10$; 3 – аргиллит черный, слабоуглистый, $f = 2-3$; 4 –

алевропесчаник невыдержанного состава, на отдельных участках переходящий в песчаник, $f = 6-8$; 5 – алевролит черный слоистый, с прослоями песчаника, $f = 4-6$; 6 – песчаник желто-серый, массивный, мелкозернистый, $f = 8-10$; 7 – аргиллит слабоожеженный, $f = 4-6$; 8 – песчаник неоднородный, ожеженный, $f = 8-10$; 9 – пласт двухаршинный, $f = 3$; 10 – слоистый алевропесчаник, $f = 6-8$; 11 – пласт-спутник двухаршинный, $f = 3$; 12 – песчаник неоднородный по составу, переслаивющийся с алевропесчаником, $f = 6-8$, отдельные слои которого ожежены, $f = 8-10$; 13 – аргиллит темно-серый, плотный, $f = 3-4$; 14 – песчаник мелкозернистый, массивный, $f = 6-10$; 15 – слоистый темно-серый алевролит, $f = 4-6$

При разрушении горной породы шарошечным долотом кроме одноосного сжатия присутствуют сдвиговые напряжения. Кроме того, на процесс бурения влияет также плотность горной породы. В связи с этим более полно сопротивление горной породы разрушению отражает показатель буримости [46].

Бурение горной породы с чередующимися слоями, имеющими разную крепость, характеризуется возникновением ударной нагрузки. Удар, как правило, вызывает повышение напряжения в зонах контакта бурового инструмента с породой, в подшипниковых узлах и соединительных элементах всего рабочего органа бурового станка. Буровой инструмент выходит из строя при разрушении различных его элементов. Однако в 80 % случаев шарошечный буровой инструмент отказывает в работе по причине разрушения подшипниковых узлов [6].

Средние нагрузки, как показывает практика, с достаточной точностью соответствуют расчетным значениям усилий и мощности машины. Однако для эффективной эксплуатации горных машин необходимо знать зависимость их мгновенной нагрузки от определяющих факторов. Неравномерность мгновенной нагрузки определяется как случайная функция времени. Предугадать колебания нагрузки полностью невозможно даже при наличии подробного анализа структуры породы. Так или иначе, но возникают

случайные включения породы разной крепости, которые незначительно влияют на теоретическую скорость проходки. Но на практике данные включения обязательно влияют не только на скорость бурения, но и на напряженное состояние бурового инструмента. В частности, периодическое возникновение ударов создает циклическую нагрузку, что приводит к усталостному разрушению элементов инструмента.

Для оценки опасности ударных нагрузок необходимо определить уровень напряжения, возникающего при ударе. Ударная нагрузка, с одной стороны характеризуется уровнем энергии, которая обеспечивает продвижение бурового инструмента через горную породу. С другой стороны, ударная нагрузка характеризуется изменением физико-механических свойств породы. Таким образом, уровень энергии, которая обеспечивает продвижение бурового инструмента через горную породу, характеризуется мощностью, передаваемой от привода подачи к рабочему органу и буровому инструменту,

$$N = \frac{A}{t} = \frac{\Delta E}{t} = \frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2t}, \quad (1.7)$$

где N – мощность, передаваемая от привода подачи к буровому инструменту бурового станка с учетом КПД привода подачи, Вт; ΔE – изменение кинетической энергии при продвижении бурового инструмента через породу, Дж; m – эквивалентная масса, характеризующая массу рабочего органа и энергию подающего привода, кг; v_1, v_2 – скорости равномерного продвижения бурового инструмента при бурении породы 1 и 2 с соответствующими физико-механическими свойствами, м/с (здесь порода 2 имеет показатель буримости больше чем порода 1); t – время переходного процесса, т. е. период, за который скорость подачи бурового инструмента изменяется от значения 1 до значения 2 (рис. 1.22).

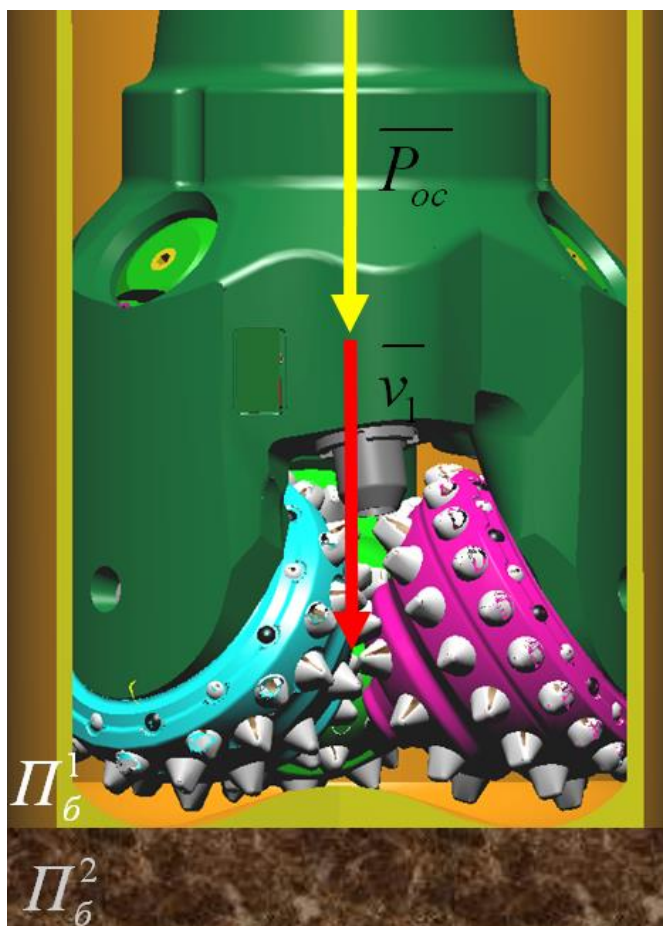


Рис. 1.22. Схема бурения трехшарошечным долотом при переходе бурового инструмента на слой горной породы с большим показателем буримости $\Pi_б^2 > \Pi_б^1$. P_{oc} – осевое усилие, v_1 – скорость бурения породы с показателем буримости $\Pi_б^1$.

Изменение скорости продвижения бурового инструмента через горную породу при переходе на породу с большим показателем буримости характеризует дополнительное напряжение, возникающее при ударе,

$$\sigma_{уд} = \frac{F}{S} = \frac{m(v_2 - v_1)}{S \cdot t}, \quad (1.8)$$

где $\sigma_{уд}$ – напряжение, возникающее в металле при ударе, МПа; S – площадь контактной поверхности в подшипниковых узлах или других элементах, воспринимающих полностью нагрузку удара, мм².

Выразив эквивалентную массу из уравнений (1.7) и (1.8), приравняем их и определим напряжение, возникающее при переходе бурового инструмента на породу с более высоким показателем буримости:

$$\sigma_{уд} = \frac{(v_2 - v_l)}{S \cdot t} \cdot \frac{2N \cdot t}{(v_2^2 - v_l^2)},$$

или

$$\sigma_{уд} = \frac{2N}{S \cdot (v_2 + v_l)}.$$

С учетом выражения

$N = P_{ос} \cdot v_l$, предложенного проф. Р. Ю. Подэрни [10], получим

$$\sigma_{уд} = \frac{2P_{ос} \cdot v_l}{S \cdot (2v_l - \Delta v)}, \quad (1.9)$$

где $P_{ос}$ – осевое усилие, Н; Δv – изменение скорости при переходе бурового инструмента на более крепкую породу, м/мин; v_l – скорость бурения до перехода бурового инструмента на более крепкую породу.

Согласно работе [47] максимальное напряжение в ролике подшипника качения

$$\sigma_p^{max} = 600 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_r}{z \cdot D_p \cdot L_p}}.$$

Максимальное напряжение в шарике подшипника качения

$$\sigma_{ш}^{max} = 1800 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_r}{z \cdot D_{ш}^2}},$$

где F_r – радиальное усилие, прилагаемое к подшипнику, Н; z – количество тел качения в подшипнике; D_p – диаметр ролика, мм; L_p – длина ролика, мм; $D_{ш}$ – диаметр шарика, мм.

Тогда напряжение в ролике подшипника качения шарошки, возникающее при ударе с учетом выражения (1.9),

$$\sigma_{р.уд.}^{max} = 600 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_r}{z \cdot D_p \cdot L_p}} \cdot \frac{2v_l}{2v_l - \Delta v} \quad (1.10)$$

Напряжение в шарике подшипника качения шарошки, возникающее при ударе,

$$\sigma_{ш}^{max} = 1800 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_r}{z \cdot D_{ш}^2}} \cdot \frac{2v_l}{2v_l - \Delta v} \quad (1.11)$$

Скорость бурения находим из выражения [46]:

$$v = \frac{P_{ос} \cdot n_{вр}}{5\Pi_6 \cdot D_1^2}, \text{ м/мин},$$

где $P_{ос}$ – осевое усилие, МН; $n_{вр}$ – частота вращения бурового става, с^{-1} ; D_1^2 – диаметр долота, м.

$$\Pi_6 = 0,07 \cdot (\sigma_{сж} + \sigma_{сдв}) + 0,7\gamma,$$

где Π_6 – показатель буримости; $\sigma_{сж}$ – предел прочности горной породы при одноосном сжатии, МПа; $\sigma_{сдв}$ – предел прочности горной породы при сдвиге, МПа; γ – плотность горной породы, т/м^3 .

Предел прочности горной породы при сдвиге приблизительно определяется из выражения:

$$\sigma_{сдв} = 0,5 \cdot \sqrt{\sigma_{сж} \cdot \sigma_p}, \text{ МПа},$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности горной породы при растяжении, МПа; σ_p – предел прочности горной породы при растяжении, МПа.

Если необходимо найти скорость бурения до удара v_l , то в расчете необходимо использовать показатель буримости породы, расположенной до перехода бурового инструмента на более крепкую породу.

Таблица 1.10 – Скорость бурения v_l (м/мин), шарошечным долотом диаметром 215,9 мм в зависимости от осевого усилия и показателя буримости Π_6 породы

Π_6 $P_{ос}, \text{кН}$	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
140	0,300	0,200	0,150	0,120	0,100	0,086	0,075
160	0,261	0,174	0,130	0,104	0,087	0,075	0,065
180	0,201	0,134	0,100	0,080	0,067	0,057	0,050

Для дальнейших расчетов, с учетом справочных материалов [2, 41], необходимо найти скорости бурения при различных технологических параметрах и оснащении бурового станка. Для шарошечного долота диаметром 215,9 мм рассчитанные скорости бурения в зависимости от показателя

буримости породы и величины осевого усилия, представлены в табл. 1.10.

Для шарошечного долота диаметром 244,5 мм рассчитанные скорости бурения в зависимости от показателя буримости породы и величины осевого усилия представлены в табл. 1.11.

Таблица 1.11 – Скорость бурения v_I (м/мин), шарошечным долотом диаметром 244,5 мм в зависимости от осевого усилия и показателя буримости Π_6 породы

Π_6 $P_{ос}, \text{кН}$	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
180	0,301	0,201	0,151	0,120	0,100	0,086	0,075
200	0,254	0,169	0,127	0,102	0,085	0,073	0,064
220	0,191	0,127	0,096	0,077	0,064	0,055	0,048

Для шарошечного долота диаметром 269,9 мм рассчитанные скорости бурения в зависимости от показателя буримости породы и величины осевого усилия представлены в табл. 1.12.

Таблица 1.12 – Скорость бурения v_I (м/мин), шарошечным долотом диаметром 269,9 мм в зависимости от осевого усилия и показателя буримости Π_6 породы

Π_6 $P_{ос}, \text{кН}$	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
200	0,274	0,183	0,137	0,110	0,092	0,078	0,069
235	0,245	0,163	0,123	0,098	0,082	0,070	0,061
270	0,193	0,128	0,096	0,077	0,064	0,055	0,048

По данным табл. 1.10 – 1.12 наблюдается снижение скорости бурения при увеличении осевого усилия, поскольку в расчетах использовались рекомендуемые средние значения осевого усилия и скорости вращения рабочего органа. Согласно рекомендациям, представленным в работе [48], при увеличении осевого усилия в разрешенном заводом изготовителем интервале частота вращения должна уменьшаться также в допустимом интервале. В расчетах скоростей бурения при увеличении осевого усилия частота вращения уменьшалась.

Затем с учетом полученных выражений (1.10) и (1.11) были построены зависимости напряжения, возникающего в роликах опор качения трехшарошечного долота от удара, вызванного изменением физико-механических свойств породы и характеризуемого разностью скорости бурения

соответствующих слоев породы (рис. 1.23).

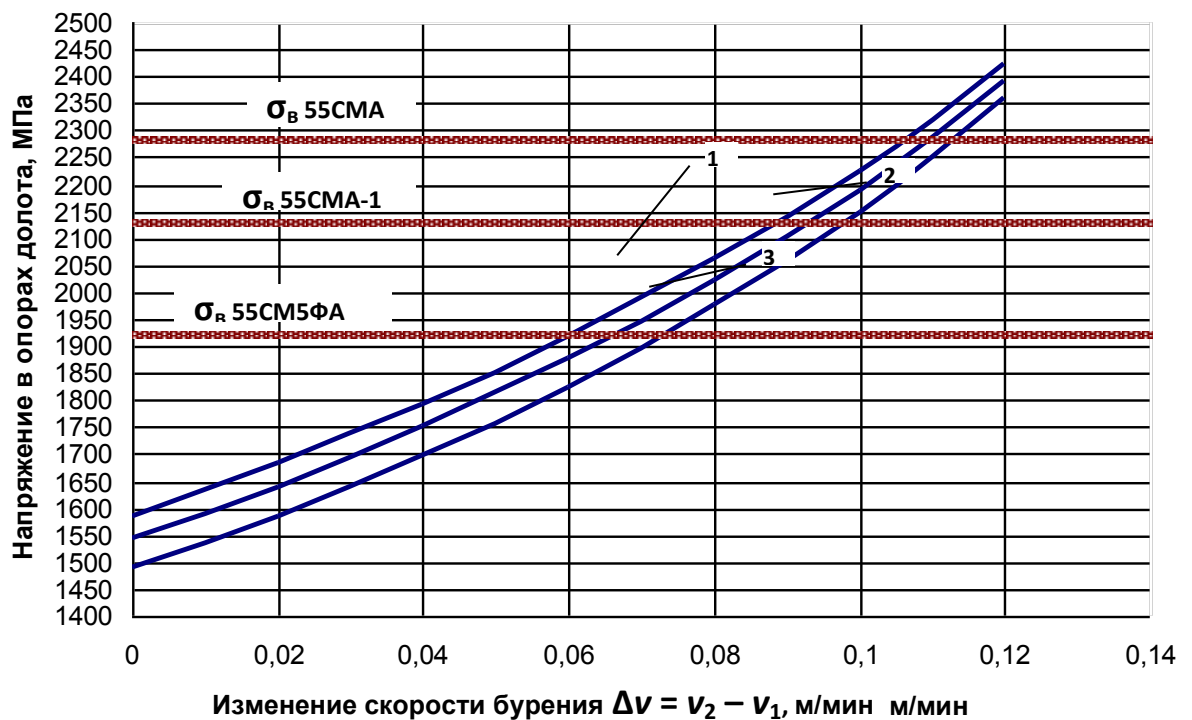


Рис. 1.23. Напряжение в роликах опор качения шарошек: 1 – напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 215,9 мм при осевом усилии 160 кН; 2 – напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 244,5 мм при осевом усилии 200 кН; 3 – напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 269,9 мм при осевом усилии 235 кН (минимальное напряжение соответствует бурению породы без ударов; кривые строились с показателем буримости 7,5; горизонтальные прямые показывают величину предела прочности при сжатии сталей 55СМ5ФА, 55СМА-1, 55СМА)

Выразим напряжение в опорах качения, возникающее при ударе через показатель буримости

для роликовых тел качения

$$\sigma_{\text{р.уд}}^{\text{max}} = 600 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_r}{z \cdot D_p \cdot L_p}} \cdot \frac{2\Pi_6^I + 2\Delta\Pi_6}{2\Pi_6^I + \Delta\Pi_6}; \quad (1.12);$$

для шариковых тел качения

$$\sigma_{\text{ш}}^{\text{max}} = 1800 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_r}{z \cdot D_{\text{ш}}^2}} \cdot \frac{2\Pi_6^I + 2\Delta\Pi_6}{2\Pi_6^I + \Delta\Pi_6}, \quad (1.13)$$

где Π_6 – показатель буримости.

С использованием выражения (1.12) построены зависимости напряжения в роликах опор качения трехшарошечного долота, возникающего при ударе от величины изменения показателя буримости (рис. 1.24, 1.25).

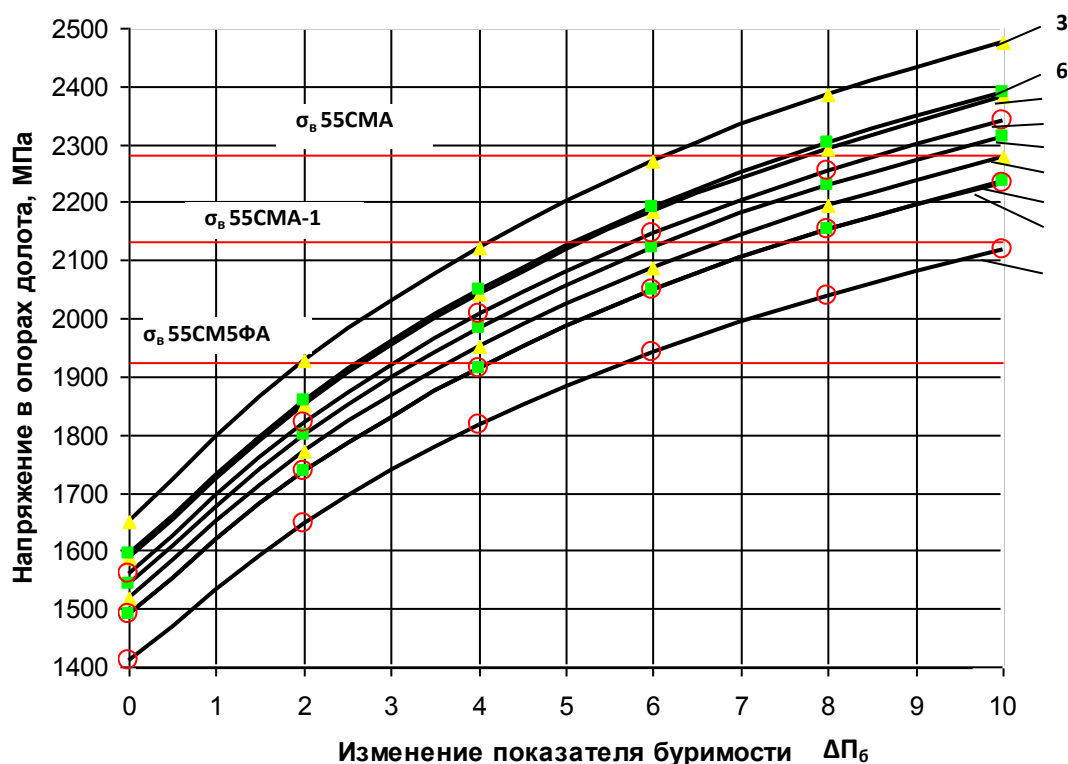


Рис. 1.24. Напряжения в роликах опор качения шарошек: кривые 1–3 – напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 215,9 мм при осевом усилии 140, 160 и 180 кН; 4–6 – напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 244,5 мм при осевом усилии 180, 200, 220 кН; 7–9 – напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 269,9 мм при осевом усилии 200, 235, 270 кН

Минимальное напряжение (рис. 1.24) соответствует бурению породы без ударов. Кривые построены с показателем буримости $\Pi_6 = 5$. Горизонтальные прямые показывают величину предела прочности при сжатии сталей 55CM5ΦА, 55CMA-1, 55CMA.

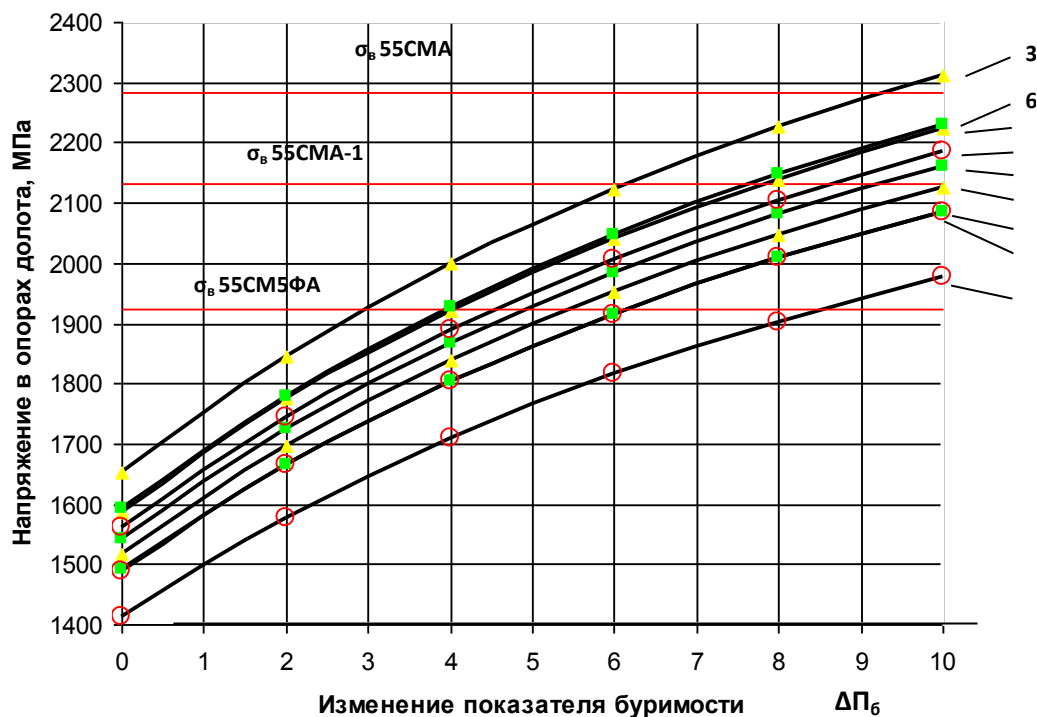


Рис. 1.25. Напряжения в роликах опор качения шарошек: кривые 1–3 – напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 215,9 мм при осевом усилии 140, 160 и 180 кН; 4–6 – напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 244,5 мм при осевом усилии 180, 200, 220 кН; 7–9 – напряжения, возникающие в опорах шарошечного долота диаметром 269,9 мм при осевом усилии 200, 235, 270 кН

Минимальное напряжение (рис. 1.25) соответствует бурению породы без ударов. Кривые построены с показателем буримости $\Pi_6 = 7,5$. Горизонтальные прямые показывают величину предела прочности при сжатии сталей 55СМ5ФА, 55СМА-1, 55СМА.

При нагружении шарошечного долота с тремя шарошками основную нагрузку воспринимают роликовые подшипники. Шариковые подшипники выполняют роль запирающего механизма. Тела качения в шарошечных долотах изготавливают из высокопрочных конструкционных сталей, как правило, содержащих кремний и молибден. Их предел прочности находится в диапазоне 1 900 – 2 300 МПа. Механические свойства данных сталей значительно зависят от режимов термической обработки. На рис. 1.23-1.25 показаны пределы

прочности сталей, из которых изготавливаются тела качения шарошечных долот.

При условии бурения горной породы с показателем буримости $P_6 = 5$ (рис. 1.24) и среднем подающем усилии максимально допустимая величина изменения показателя буримости породы $[\Delta P_6]$ для сталей 55СМ5ФА; 55СМА-1; 55СМА будет следующей: для долот диаметром 215,9 мм $[\Delta P_6] = 2,5; 5; 7,5$; для долот диаметром 244,5 мм $[\Delta P_6] = 3,3; 6,2; 9,2$; для долот диаметром 269,9 мм $[\Delta P_6] = 4,2; 7,5; >10$.

При условии бурения горной породы с показателем буримости $P_6 = 7,5$ (рис. 2.33) и среднем подающем усилии максимально допустимая величина изменения показателя буримости породы $[\Delta P_6]$ для сталей 55СМ5ФА; 55СМА-1; 55СМА будет следующей: для долот диаметром 215,9 мм $[\Delta P_6] = 4; 8; >10$; для долот диаметром 244,5 мм $[\Delta P_6] = 5; 9,2; >10$; для долот диаметром 269,9 мм $[\Delta P_6] = 6,2; >10; >10$.

В связи с представленными результатами можно сделать следующие выводы:

- при бурении сложноструктурных пород, имеющих слои с разными показателями буримости, напряжение в различных элементах бурового инструмента зависит от первоначального уровня показателя буримости и величины прироста показателя буримости. Увеличение напряжения возникает при переходе на более крепкую породу и достигает до 50 % и более;

- увеличение напряжения зависит от отношения прироста показателя буримости к первоначальному значению показателя буримости. При условии одинакового прироста показателя буримости напряжение будет больше в том случае, если первоначальное значение показателя буримости было меньше.

- предел прочности материала тел качения шарошечных долот при бурении сложноструктурных пород должен быть на 50 % больше напряжения, возникающего в телах качения шарошечных долот при бурении породы с неизменным значением показателя буримости 5–7,5.

2 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Разработка оснастки для стенда

Применение стенда

Стенд предназначен для проведения испытаний подшипников качения на переносимость нагрузок, таких как:

1. Постоянная радиальная нагрузка с определенной силой
2. Переменная радиальная нагрузка с различной силой удара в разные моменты времени
3. Комбинация постоянной и переменной нагрузок

Пользователи стенда в первую очередь - это инженеры-конструкторы и предприятия, производящие подшипники качения для различных областей применения.

Конструктивно стенд легко масштабируется под любые размеры подшипников и любые необходимые нагрузки.

Для постоянной радиальной нагрузки используется винтовая передача. Усилие регулируется силой затяжки винта регулировки.

Переменная нагрузка осуществляется с помощью электромагнита с подвижным сердечником путем подачи на обмотки напряжения с определенной частотой.

Частота задается с помощью панельного промышленного контроллера с жидкокристаллическим экраном и кнопками управления.

Устройство и технические характеристики стенда

Электрическая схема стенда для моделирования динамических нагрузок на подшипники качения шарошечных долот представлена на рисунке 2.1.

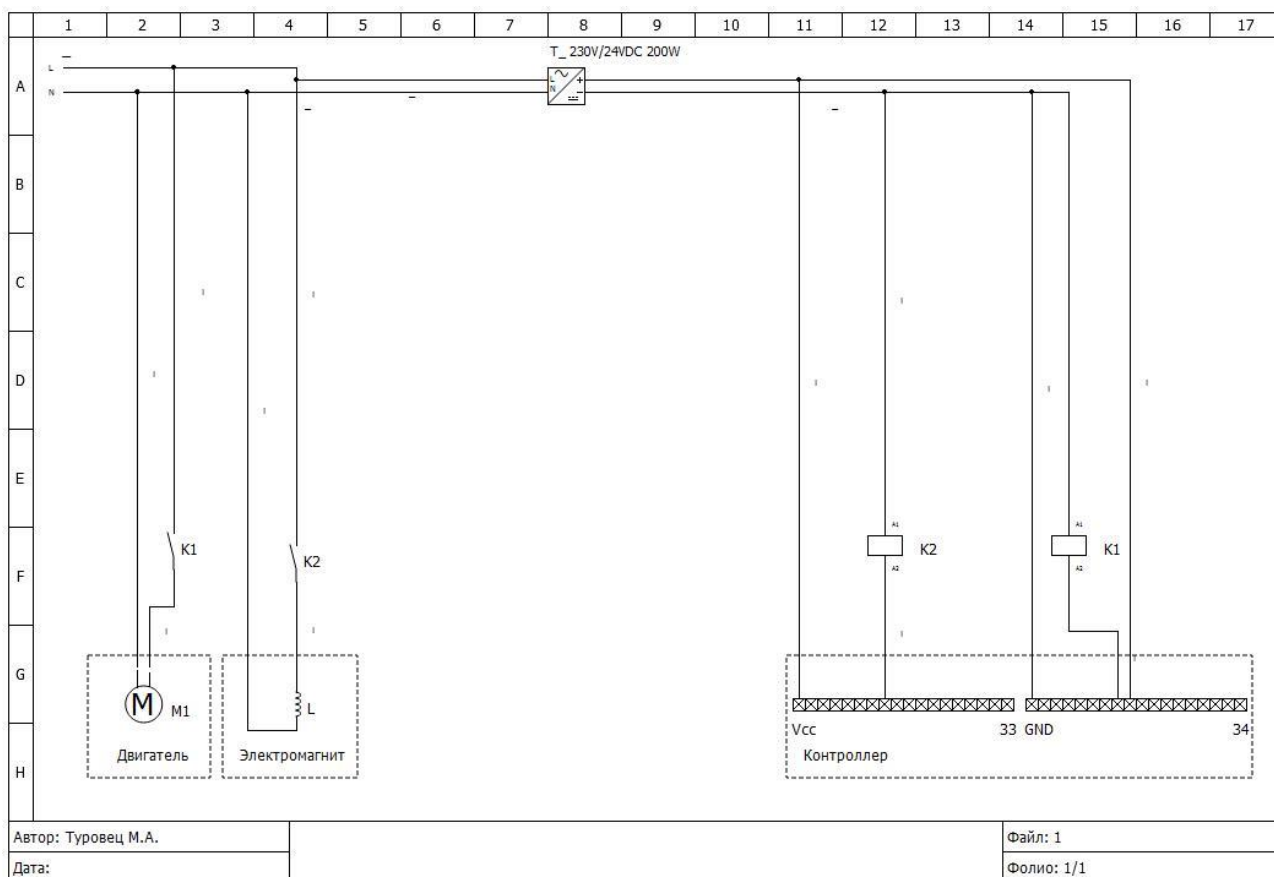


Рисунок 2.1. – Электрическая схема стенда для моделирования динамических нагрузок на подшипники качения шарошечных долот

Технические характеристики стенда приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики стенда моделирования динамических нагрузок на подшипники качения шарошечных долот.

Наименование	Ед. изм.	Значение
Основные характеристики		
Минимальный внутренний диаметр подшипника	мм.	20
Максимальный внутренний диаметр подшипника	мм.	40
Максимальный внешний диаметр подшипника	мм.	130
Минимальная частота переменной нагрузки	Гц	1
Максимальная частота переменной нагрузки	Гц	100
Характеристики электродвигателя		
Частота вращения вала	об/мин	2700
Потребляемая мощность, не более	Вт	120

Тип электрического тока		Переменный
Тип электрической сети		Однофазная
Номинальное напряжение сети питания	В	220/230
Номинальная частота сети питания	Гц	50/60
Диапазон номинального напряжения	В	198-242
Емкость пускового конденсатора	мкФ	10
Емкость рабочего конденсатора	мкФ	10
Степень защиты корпуса		IP20
Температура окружающей среды	°C	-30..+50
Вес	кг	2,5
Характеристики электромагнита		
Максимальная сила переменной нагрузки	Н	170
Потребляемая мощность	Вт	30
Тип электрического тока		Переменный
Тип электрической сети		Однофазная
Номинальное напряжение сети питания	В	220/230
Номинальная частота сети питания	Гц	50/60
Диапазон номинального напряжения	В	198-242
Степень защиты корпуса		IP42
Температура окружающей среды	°C	-30..+50
Вес	кг	0,4
Характеристики блока питания		
Тип блока питания		AC-DC
Тип электрического тока		Переменный
Тип электрической сети		Однофазная
Номинальная частота сети питания	Гц	50/60
Диапазон номинального напряжения	В	100-240
Потребляемая мощность	Вт	200
Степень защиты корпуса		IP20
Выходное напряжение	В	24
Максимальная выходная нагрузка	А	8,4
Температура окружающей среды	°C	-30..+50
Вес	кг	1
Характеристики контроллера		
Производитель		Segnetics

Модель		SMH2010
Количество аналоговых входов	шт.	6
Тип аналоговых входов		Резистивные датчики (4 шт.) Входы 4..20 мА (2 шт.)
Разрешение аналоговых входов	Бит	10
Количество дискретных входов	шт.	10
Уровень напряжения сигнала дискретных входов логический 0	В	0-3,4
Уровень напряжения сигнала дискретных входов логический 1	В	4-50
Максимальная частота по входам	Гц	100
Количество аналоговых выходов	шт.	2
Разрешение аналоговых выходов	Бит	10
Нагрузочная способность аналогового выхода	мА	3
Количество дискретных выходов	шт.	8
Тип дискретных выходов		Транзистор с открытым стоком
Максимальный ток нагрузки выходов		1 А, (продолжительная работа) 5 А, (импульс 300 мкс, скважность 50)
Напряжение выходной нагрузки, макс.	В	50
Тип постоянной нагрузки		Постоянный ток
Последовательные порты		1 – RS 485 1 – RS 232 с оптоизоляцией 1 – RS 485 с оптоизоляцией
Встроенный протокол		Modbus RTU SB - 2
Расширение		До 832 каналов ввода/вывода
Шина расширения		Modbus RTU
Память программ управления	Кбайт	128
ОЗУ	Кбайт	32
EEPROM	Кбайт	68
Цикл опроса, минимум	мс	5
Часовой таймер (WDT)		встроен
Клавиатура		Пленочная, 22 кнопки, 6 функциональных
Дисплей		Монохромный LCD (подсветка), 4 строки x 20 символов.
Корпус		ABS пластик
Напряжение питания	В	24 постоянное/переменное напряжение
Рабочее напряжение пост. напряжение	В	18 ... 36
Рабочее напряжение перем. напряжение	В	15 ... 30
Энергопотребление	Вт	4,5
Тип клемм		Combicom
Макс. Сечение подключаемого	мм ²	2,5

проводника		
Изоляция		Не менее 20 МОм между каждым входом и корпусом
Время сброса программы		2 сек (Прерывание по питанию случается при снижении питания менее 80% номинала на время, большее времени прерывания питания).
Вес устройства	кг	0,5
Защита памяти		При отключении питания полностью сохраняется содержимое памяти. Без использования батареи сохраняется содержимое только EEPROM, FLASH
Ресурс батареи	ч.	20 000
Функции самодиагностики		Неисправности ЦПУ (сторожевой таймер), сбой шины входов /выходов, сбой памяти.
Степень защиты IEC		IP65 (по лицевой панели)
Защита от перегрузки		Самовосстанавливающийся предохранитель
Защита от превышения напряжения		При импульсном превышении напряжения питания уровня 36 в, сработает самовосстанавливающийся предохранитель. При плавном превышении напряжения уровня 48 в, перегорит супрессор VD13.
Защита от понижения питания		При снижении напряжения питания ниже 12 в, произойдет отключение программы контроллера
Защита от «переполюсовки»		Диодный мост.
Дискретные входы		
Защита от ошибочного включения положительного напряжения до 220в		Перегорит диод
Защита от ошибочного включения отрицательного напряжения до 220в		Перегорит резистор
Дискретные выходы		
Защита транзистора от обратного тока		Диод
Аналоговые входы		
Защита от импульсных помех		Супрессор
Защита от подачи повышенного Напряжения		Супрессор. При подаче на аналоговый вход повышенного напряжения произойдет закорачивание этого входа на «землю».
Интерфейс RS485 (COM1)		
Защита от повышенного напряжения		Супрессор
Интерфейс RS232 и RS485 (COM2)		Гальваническая развязка

2.2 Разработка программного обеспечения для стенда

Назначение и характеристики программного обеспечения

Программное обеспечение разрабатывается на специализированной программной платформе на языке функциональных блоков (FBD).

В качестве управляющего устройства взят панельный контроллер Segnetics SMH-2010, так как он сочетает в себе и исполнительное устройство и устройство отображения и управления.

2.3 Работа программного обеспечения

Скриншоты программного обеспечения с подписями представлены в приложении 1.

Общий вид шкафа управления с контроллером представлен на рисунке 2.2.

Общий вид электромагнита представлен на рисунке 2.3.

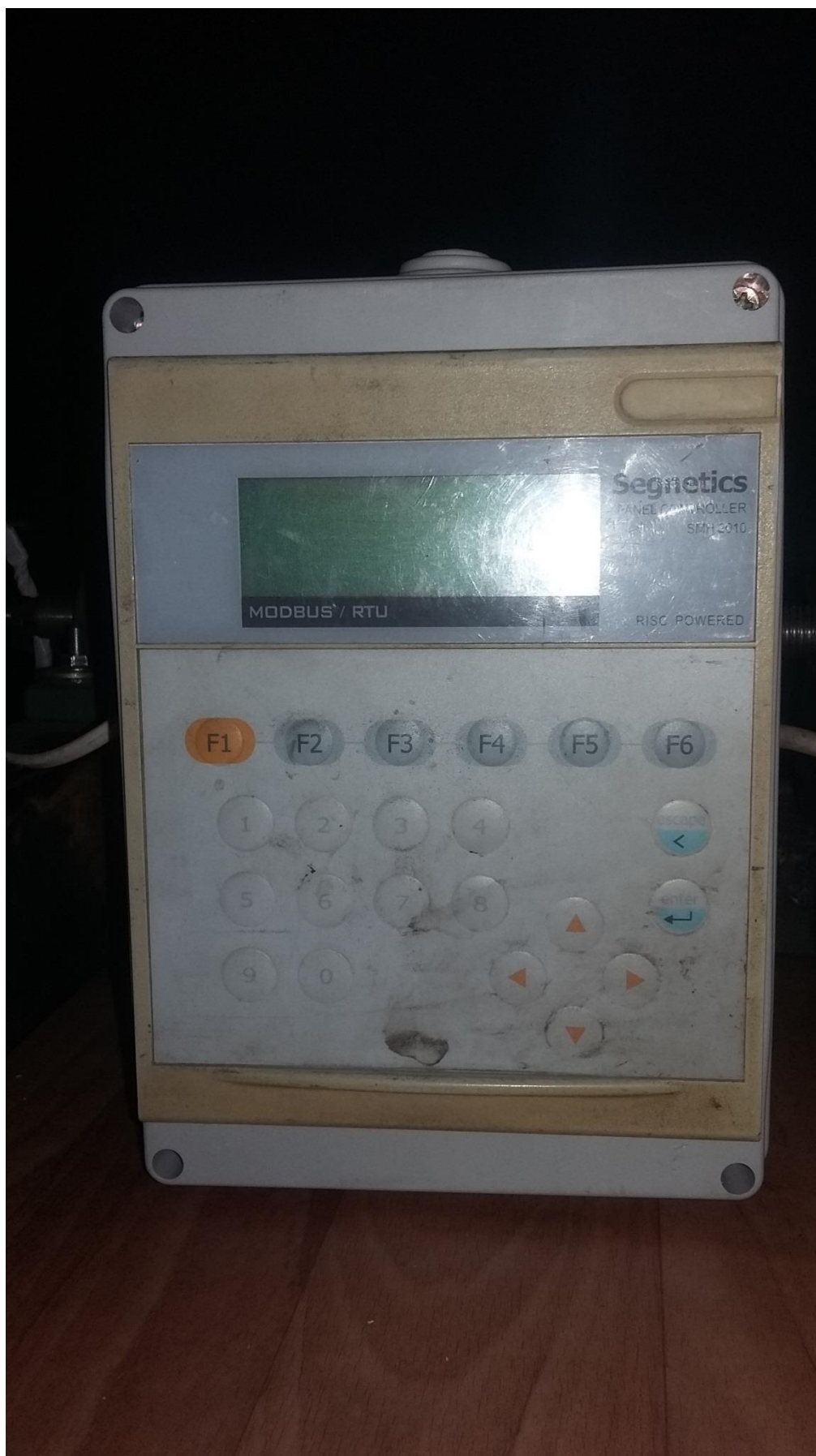


Рисунок 2.2 – Общий вид шкафа управления с контроллером



Рисунок 2.3 – Общий вид электромагнита на месте установки

3 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

3.1 Правила безопасности при проведении экспериментов

Экспериментальная установка должна обеспечивать безопасность работающих при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации, как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований.

Требования безопасности к экспериментальной установке, устанавливаются на основе требований настоящего стандарта ГОСТ 12.2.003-91 «Общие требования безопасности»:

- особенностей назначения, исполнения и условий эксплуатации;
- результатов испытаний, а также анализа опасных ситуаций, имевших место при эксплуатации аналогичного оборудования;
- требований стандартов, устанавливающих допустимые значения опасных и вредных производственных факторов;
- прогноза возможного возникновения опасных ситуаций на вновь создаваемом или модернизируемом оборудовании.

Требования безопасности к экспериментальной установке должны также учитывать возможные опасности, вызванные совместным функционированием единиц производственного оборудования, составляющих комплекс.

Экспериментальная установка в процессе эксплуатации не должно загрязнять природную среду выбросами вредных веществ в количествах выше допустимых значений, установленных стандартами и санитарными нормами.

3.2 Техника безопасности при работе с электроприборами

Прикосновение человека к электроприборам и электрическим проводам, находящимся под напряжением, сопровождается прохождением тока через определенные части тела. Степень поражения электрическим током определяется силой тока. Степень поражения зависит от напряжения и в значительной степени от сопротивления тела человека и сопротивления

изоляции. Чем выше напряжение и меньше сопротивление, тем больше сила тока и тем сильнее поражающее действие электрического тока. Сопротивление тела человека снижается при работе во влажной атмосфере. Особенно опасно, когда у работающего мокрая обувь, одежда, руки и т.д.

Различают следующие основные виды поражения организма электрическим током:

1. Электрическая травма. Выражается в расстройстве сердечно-сосудистой и дыхательной систем, которые приводят к спазмам диафрагмы, сердечной мышцы, судорогам, потере сознания.
2. Электрический удар. Представляет собой возбуждение живых тканей проходящим через организм током.
3. Электрический шок. Заключается в расстройстве центральной нервной системы под действием тока. Происходят нарушение функций кровеносной системы, обмена веществ и даже нервно-психические расстройства.
4. Электрические ожоги. Это разновидность электротравм, которая возникает при контакте с токоведущими частями либо при воздействии электрической дуги. Наиболее тяжелый случай, когда возникает электрическая дуга между токоведущей частью электроприбора и телом человека. При этом могут происходить ожоги внутренних органов.
5. Электрические знаки. Образуются при унесении током частичек материалы проводника. При этом кожа уплотняется, и в ее порах откладываются частички материала (металла).

При одной и той же силе тока следует учитывать и другие факторы:

1. Род тока. До напряжения порядка 300 В постоянный ток безопасней переменного. При напряжении выше 300 В постоянный ток становится более опасным.
2. Продолжительность воздействия тока. Чем дольше тело человека находится под напряжением, тем больше изменений происходит в

организме, в частности, происходит снижение сопротивления кожи и, следовательно, увеличивается сила тока. Сопротивление кожи становится минимальным, если она повреждена или увлажнена.

3. Путь тока в организме человека. Если ток проходит кратчайшим путем и не затрагивает жизненно-важных органов (например, вдоль ладони руки), то поражение будет минимальным. Если же ток проходит, например от одной руки к другой и затрагивает спинной мозг, сердце, органы дыхания и т.д. – поражение становится максимальным.
4. Частота тока. Частота переменного тока в электрических сетях составляет 50 Гц. С ростом частоты поражающий фактор медленно и незначительно уменьшается. Практически безвреден ток частотой более 50 кГц, но при этом мощность такого тока должна быть небольшой. Такие токи вызывают только нагревание внутренних органов. Это явление используется в физиотерапии.

В химических лабораториях безопасное для жизни напряжение не превышает 12 В.

Меры безопасности при работе с электроприборами.

1. В лаборатории должен быть общий рубильник для включения и выключения внутрилабораторной сети.
2. В лаборатории следует использовать приборы заводского изготовления. При их эксплуатации необходимо руководствоваться паспортом и инструкцией завода изготовителя.
3. Электроприборы в лаборатории должны быть обязательно заземлены. Целостность заземления проверяется лаборантом.
4. Не следует пользоваться неисправными приборами, приборами с нарушенной изоляцией, с расшатанными штепсельными вилками.
5. Электрические приборы (особенно электронагревательные) нельзя оставлять без присмотра.
6. Все электронагревательные приборы независимо от мощности должны иметь достаточную тепловую изоляцию со всех сторон.

НЕЛЬЗЯ:

- Браться мокрыми руками за штепсельные вилки.
- Подвергать электроприборы и провода воздействию влаги.

Первая помощь при поражении электрическим током.

1. Обесточить пострадавшего. Для этого следует отключить общий рубильник или данную установку. Если это невозможно, то, используют сухую одежду, палку и т.д., чтобы обесточить пострадавшего.
2. Если пострадавший в сознании, ему необходимо обеспечить покой до прибытия врача. При бессознательном состоянии оказать первую помощь (уложить, расстегнуть одежду, создать приток свежего воздуха, дать нюхать нашатырный спирт, обрызгать водой и согреть тело, делать искусственное дыхание).

3.3 Требования к конструкции установки и ее отдельным частям

Материалы конструкции установки не должны оказывать опасное и вредное воздействие на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также создавать пожаровзрывоопасные ситуации.

Конструкция экспериментальной установки должна исключать на всех предусмотренных режимах работы нагрузки на детали и сборочные единицы, способные вызвать разрушения, представляющие опасность для работающих.

Если возможно возникновение нагрузок, приводящих к опасным для работающих разрушениям отдельных деталей или сборочных единиц, то производственное оборудование должно быть оснащено устройствами, предотвращающими возникновение разрушающих нагрузок, а такие детали и сборочные единицы должны быть ограждены или расположены так, чтобы их разрушающиеся части не создавали травмоопасных ситуаций.

Конструкция экспериментальной установки и его отдельных частей должна исключать возможность их падения, опрокидывания и самопроизвольного смещения при всех предусмотренных условиях эксплуатации и монтажа (демонтажа). Если из-за формы экспериментальной установки, распределения масс отдельных её частей и(или) условий монтажа (демонтажа) не может быть достигнута необходимая устойчивость, то должны быть предусмотрены средства и методы закрепления, о чем эксплуатационная документация должна содержать соответствующие требования.

При работе экспериментальной установки следует учитывать ряд вредных и опасных факторов, к которым относятся:

- шум;
- неисправный рабочий инструмент;
- электрический ток;

Перед началом работы работник обязан надеть полагающуюся ему специальную одежду и специальную обувь, пользоваться защитными очками, перчатками и респиратором.

При работе экспериментальной установки движущиеся части экспериментальной установки, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие травмирование. Перед выполнением работ убедиться в надежном креплении, что нет никакого сопротивления. Руки должны находиться на расстоянии от движущихся деталей. Если функциональное назначение движущихся частей, представляющих опасность, не допускает использование ограждений или других средств, исключающих возможность прикасания работающих к движущимся частям, то конструкция экспериментальной установки должна предусматривать сигнализацию, предупреждающую о пуске оборудования, а также использование сигнальных цветов и знаков безопасности.

Элементы конструкции экспериментальной установки не должны иметь острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования работающих, если их наличие не определяется функциональным назначением этих элементов. В последнем случае должны быть предусмотрены меры защиты работающих. При переноске или перевозке установки его острые части должны быть закрыты чехлами или иным способом.

Конструкция экспериментальной установки должна исключать самопроизвольное ослабление или разъединение креплений сборочных единиц и деталей, а также исключать перемещение подвижных частей за пределы, предусмотренные конструкцией, если это может повлечь за собой создание опасной ситуации. Экспериментальной установки должно быть пожаровзрывобезопасным в предусмотренных условиях эксплуатации.

Устройство экспериментальной установки должно быть выполнено так, чтобы исключить накопление зарядов статического электричества в количестве, представляющем опасность для работающего, и исключить возможность пожара и взрыва.

3.4 Меры борьбы с шумом

Для снижения шума до нормального значения необходимо осуществлять специальные мероприятия:

1. Технические мероприятия включающие в себя уменьшение шума машин в источнике, замену шумных процессов на менее шумные.
2. Санитарно-акустические меры основаны по применению, звукопоглощающих материалами.
3. Дистанционным управлением шумным процессом.
4. Применением средств шумовой защиты.

Ответственными лицами за исправное состояние экспериментальной установки является рабочий его использующий. Экспериментальную установку

должен не реже 1-го раза в квартал представляться для осмотра непосредственному руководителю.

Конструкция рабочего места, его размеры и взаимное расположение элементов (органов управления, средств отображения информации, вспомогательного оборудования и др.) должны обеспечивать безопасность при использовании производственного оборудования по назначению, техническом обслуживании, ремонте и уборке, а также соответствовать эргономическим требованиям.

Размеры рабочего места и размещение его элементов должны обеспечивать выполнение рабочих операций в удобных рабочих позах и не затруднять движений работающего.

Экспериментальная установка и его части, перемещение которых предусмотрено вручную, должно быть снабжено устройствами (например ручками) для перемещения или иметь форму, удобную для захвата рукой.

При возникновении неисправностей экспериментальной установки работник обязан прекратить работу, поставить в известность руководителя о возникших неисправностях.

Настоящая инструкция распространяется для проведения опытов на экспериментальной установке и устанавливает требования безопасности при их проведении.

Инструкция обязательна для студентов, проводящих опыты на экспериментальной установке.

3.5 Общие требования безопасности

- Для проведения опытов на экспериментальной установке допускаются лица, достигшие 18-летнего возраста, годные по состоянию здоровья.
- Порядок и виды обучения работающих по технике безопасности определяются в соответствии с ГОСТ 12.0.004-90.

- Помещения лабораторий должны быть оборудованы в соответствии с требованиями "Правил безопасности при проведении опытов"
- Опыты проводимые при неисправной или выключенной вентиляции не допускаются.
- Лаборатория должна быть обеспечена аптечкой для оказания первой помощи при порезах, ожогах, отравлениях, ударом тока. Медикаменты необходимо постоянно обновлять в установленные сроки.
- Персонал проводимый опыты на экспериментальной установке должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты .
- Все помещения должны иметь внутреннюю отделку, исключающую накопление пыли и сорбцию паров токсических веществ и допускающую уборку любым способом (вакуумным, влажным). Полы должны иметь нескользкую поверхность и легко очищаться.

3.6 Требования безопасности перед началом работ

Перед началом работы каждый работник обязан:

1. подготовить рабочее место, освободив его от ненужных предметов;
2. подробно ознакомиться со свойствами веществ, с которыми нужно проводить работы;
3. проверить исправность оборудования и аппаратуры - вентиляции;
4. включить вентиляцию;
5. подготовить средства индивидуальной защиты, необходимые для выполнения работ;
6. проверить наличие защитных ограждений на оборудовании и приборах;
7. Рабочее место должно иметь достаточную освещенность, проходы должны быть свободными;

3.7 Требования безопасности во время работы

Во время работы каждый работник обязан:

1. Контролировать исправность оборудования;
2. Контролировать соблюдение технологического процесса;
3. Не допускать попадания посторонних предметов и жидкостей в рабочую область;
4. Предпринимать необходимые меры для предотвращения аварийных ситуаций;
5. Рабочее место должно иметь достаточную освещенность, проходы должны быть свободными;

3.8 Требования безопасности по окончании работ

После окончания работ в лаборатории необходимо выполнять следующие требования:

1. убрать свое рабочее место, навести порядок и чистоту;
2. средства индивидуальной защиты поместить в специально отведенный шкаф;
3. выключить вентиляцию и электро-приборы;
4. тщательно вымыть руки;
5. выключить освещение, общий рубильник.

3.9 Требования безопасности в аварийной ситуации

При возникновении аварийной ситуации работник обязан:

1. Обесточить оборудование;
2. При возникновении пожароопасной ситуации действовать согласно инструкции по пожарной безопасности;
3. При травмировании персонала действовать согласно инструкции по оказанию первой помощи;
4. При необходимости обеспечить эвакуацию персонала согласно плана эвакуации;

4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1 Сетевая модель выполнения работы

Работа выполнялась с использованием сетевой модели. Это позволило рационально распределить время по видам работ и выполнить дипломную работу в установленный учебным графиком срок.

В основе сетевого планирования и управления (СПУ) лежит сетевая модель графическое изображение событий и работ, которое получило название сетевого графика.

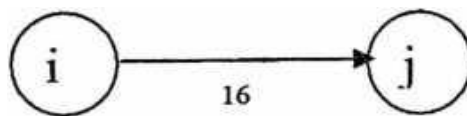
Целью применения СПУ является разработка оптимального или достаточно близкого к нему варианта выполнения работ, обеспечивающего рациональную увязку во времени и пространстве выполняемых работ, наилучшее использование ресурсов, а также эффективное управление процессом реализации этого плана.

Элементами сетевого графика, построенного в форме работа-стрелка, являются работа, событие, путь.

Работа (операция) – основной элемент сетевого графика. Различаются действительная работа, работа-ожидание и фиктивная работа.

Действительная работа – это трудовой процесс, в котором участвуют люди, машины, потребляются материально – технические и денежные ресурсы (устройство переключек, изготовление макета, монтаж металлоконструкций и т.д.). Она изображается в виде сплошной стрелки; над стрелкой пишется наименование (содержание) работы, а под стрелкой – продолжительность выполнения работы в выбранных единицах времени. Выбор единицы измерения продолжительности работы зависит от уровня руководства, которому предназначен сетевой график. Так, в проекте организации строительства в качестве единицы принимаются месяц или квартал, в проектах производства работ – дни, недели, месяцы; при планировании работы комплексных бригад – смены, часы. Продолжительности выполнения всех работ в одном сетевом графике должны быть определены в одних единицах. Предполагается, что время

течет в направлении, указанном стрелкой: хвост стрелки – начало, а острие – окончание работы.



Изготовления стенда

Работа-стрелка соединяет два события: i – предшествующее и j – последующее. Пара номеров событий образуют код (шифр) работы. Первым читается номер события, стоящего в хвосте стрелки, и вторым – у острия. Как уже отмечалось, расчеты сетевых графиков и решение различных задач на их основе выполняются на ЭВМ, при этом машина различает работы только по их коду. Продолжительность работы обозначается t_{ij} .

Ожидание – работа, для выполнения которой требуется только время, ресурсы при этом не тратятся (твердение бетона, наполнение водохранилища). Работа - ожидание изображается так же, как и действительная работа.

Фиктивная работа – вспомогательный элемент сетевого графика, позволяющий сделать график более удобным для восприятия, правильно указать организационные и технологические связи между работами. Фиктивная работа не потребляет ресурсов и продолжительность ее равна нулю. Обозначается она пунктирной стрелкой.

Событие - есть факт окончания одной работы и начала другой. Событие обычно изображается кружком, в котором указан номер.

Событие не связано с потреблением ресурсов и продолжительность его равна нулю. Считается, что работа выходит из одного события и входит в другое.

Различают начальные и конечные события. Конечное событие иногда называют целью. По числу конечных событий различают одно- и многоцелевые сетевые графики.

Путь – это последовательность работ в сетевом графике, при которой окончание предшествующей работы совпадает с началом последующей.

Для работы или события существует предшествующий путь, ведущий из

начального события к данному или из начального события к событию, предшествующему данной работе.

Аналогично для работы и события существуют последующие пути, связывающие данное событие с конечным или событие, последующее за данной работой, с конечным.

Полный путь связывает начальное событие с конечным. Самый длинный полный путь называется критическим.

Сетевой график в форме работа – стрелка получил наибольшее распространение, так как содержит текстовую информацию (наименования работ, указанных над стрелками) и облегчает восприятие графика человеком.

Для обработки на ЭВМ график должен быть представлен в форме, «понятной» для машины. Наиболее распространенной является так называемая списочная форма задания сетевого графика.

Каждая строка таблицы содержит информацию об одной работе графика. Число строк равно числу работ в сетевом графике (для сети в форме работа-стрелка включаются и фиктивные работы). В первой колонке записаны начальные числа кодов работ I , во второй – конечные числа этих кодов j , в третьей колонке - продолжительность выполнения этих работ t_{ij} .

Число столбцов может быть большим: например, в дополнительном столбце можно указать число рабочей силы, занятой на выполнении работы, количество материально-технических ресурсов, потребляемых на работе, и т.д.

Все события (вершины) в сетевом графике в форме работа-стрелка должны быть пронумерованы. Предпочтительной является так называемая упорядоченная нумерация, при которой номер вершины, стоящей в начале дуги (в хвосте стрелки), будет меньше номера вершины, стоящей в конце дуги (у острия стрелки), т.е. для любой дуги $i < j$. Большинство алгоритмов, по которым производятся расчеты, связанные с сетевыми графиками, ориентированы именно на упорядоченную нумерацию вершин.

Упорядочение вершин может быть выполнено самой ЭВМ по специальной программе. При списочном задании сетевого графика

упорядочение производится вручную до записи информации на машинные носители. Для этого применяется алгоритм, который называется **способ вычерчивания выходящих дуг**. Он состоит в следующем: на графике отыскивается вершина (или вершины), не имеющая входящих дуг; этой вершине (вершинам) присваивается очередной порядковый номер (очередные порядковые номера); вычеркиваются все дуги, выходящие из отмеченной вершины (из отмеченных вершин) и в предположении, что вычеркнутых дуг больше нет, алгоритм начинают сначала, пока не будет пронумерована последняя вершина.

Формальные правила построения сетевых графиков являются общими для всех сетевых графиков независимо от того, какие проекты они моделируют; строительство гидроузла, разработку проекта турбогенератора или организацию учебного процесса в вузе. Соблюдение правил позволяет применять к обработке всех сетевых графиков одни и те же алгоритмы и программы для ЭВМ.

Правило 1. Ни одна работа в сетевом графике не может начаться прежде, чем будут окончены все без исключения предшествующие ей работы. Следствием этого правила является требование, чтобы в сетевом графике не было циклов.

Правило 2. В сетевом графике не должно быть двух и более работ, имеющих одинаковый код (это правило называют правилом изображения параллельных работ, т.е. таких, которые могут выполняться одновременно). Так как ЭВМ различает работы только по коду, то она не сумеет отличить в данном случае одну работу от другой. Для правильного изображения этого фрагмента нужно ввести два дополнительных события и две фиктивные работы. В форме стрелка-связь фиктивных работ не требуется.

Правило 3. В сетевом графике не должно быть ни одного события, кроме начального, не имеющего предшествующих работ.

Правило 4. В одноцелевом сетевом графике не должно быть ни одного события, кроме конечного, не имеющего последующих работ.

Правило 5. Правило изображения сложных работ. Сложной может

называться работа, выполнение части которой достаточно для начала одной из последующих работ. Для сокращения общей продолжительности выполнения проекта сложная работа должна быть поделена на простые, и последующие работы должны начинаться сразу, как только это физически окажется возможным.

Правило 6. Правило употребления фиктивных работ. Как уже отмечалось, фиктивные работы - это вспомогательный элемент при изображении сетевых графиков в форме работа - стрелка. В ряде случаев в сетевой график целесообразно ввести дополнительные фиктивные работы, которые будут избыточными, но позволят сделать график более наглядным.

Однако при этом следует помнить, что увеличение числа фиктивных работ соответственно увеличит объем работы по подготовке исходных данных для расчета сетевого графика и время расчетов. Таким образом, следует стремиться к тому, чтобы, по крайней мере, не вводить совершенно бесполезные фиктивные работы.

Временной характеристикой всего сетевого графика является продолжительность критического пути $T_{кр}$. В одноцелевом графике существует, по крайней мере, один критический путь, хотя таких путей может быть и несколько. Возможны случаи, когда все пути в сетевом графике будут критическими. В многоцелевом сетевом графике минимальное количество критических путей равно числу конечных событий (целей), причем продолжительности этих путей могут быть разными.

Для каждой работы в сетевом графике определяют 6 временных параметров: $t_{ij}^{рн}$ - раннее начало; $t_{ij}^{ро}$ - раннее окончание; $t_{ij}^{пн}$ - позднее начало; $t_{ij}^{по}$ - позднее окончание; $R_{ij}^п$ - полный резерв времени; $R_{ij}^с$ - свободный резерв времени.

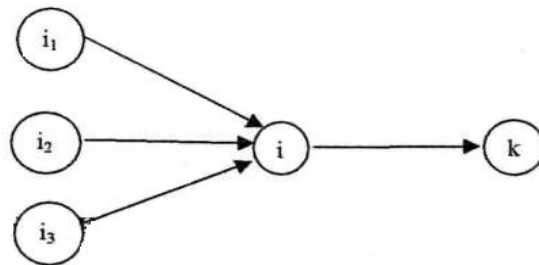
Раньше начала и ранние окончания находятся в процессе расчета графика от начального события к конечному. Раннее окончание работы связано с ее ранним началом зависимостью: $t_{ij}^{ро} = t_{ij}^{рн} + t_{ij}$.

где t_{ij} - продолжительность выполнения работы.

Раннее начало работы есть самый ранний срок, в который работа может

начаться. Численно он равен продолжительности самого длинного предшествующего данной работе пути. Как бы много ни было этих предшествующих путей им всегда

Будет принадлежать работы, непосредственно предшествующие данной.



Из рисунка и первого правила построения сетевых графиков следует, что

$$t_{jk}^{pn} = \max \{ t_{ij}^{po} \}$$

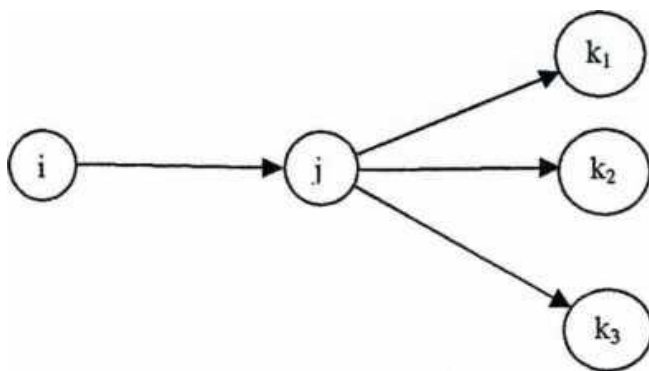
Вычисления по этой формуле производятся шаг за шагом в направлении от начального события к конечному.

Вычисления по этой формуле производятся шаг за шагом в направлении от начального события к конечному.

Поздние начала и поздние окончания отыскиваются в процессе расчета графика «ходом назад» - от конечного события к начальному. Они связаны зависимостью

$$t_{ij}^{pn} = t_{ij}^{po} + t_{ij}.$$

Позднее окончание работы определяет самый поздний срок, в который работа может окончиться, не увеличивая продолжительности критического пути. Численно позднее окончание работы равно разности между продолжительностью критического пути и самого длинного последующего за данной работой пути. Как бы много ни было таких путей им всегда будут принадлежать работы, непосредственно последующие за данной.



В соответствии с определением и рисунком следует, что

$$t_{jk}^{по} = \min \{ t_{ik}^{пн} \}$$

Действительно, если из постоянной продолжительности критического пути вычитать длины разных по продолжительности путей, то минимум разности получится тогда, когда будет вычитаться путь максимальной длины. Вычисления по этой формуле происходят шаг за шагом от конечного события к начальному.

Полный резерв времени работы показывает, на какой промежуток времени можно отодвинуть сроки выполнения работы вправо (в сторону их увеличения), не увеличивая продолжительности критического пути:

$$R_{ij}^{п} = t_{ik}^{по} - t_{ij}^{по} = (t_{ij}^{пн} + t_{ij}) - (t_{ij}^{пн} + t_{ij}) = t_{ij}^{пн} + t_{ij}$$

Если на какой то работе использован весь полный резерв времени, то по крайней мере один из последующих за данной работой путей станет критическим.

Свободный резерв времени определяет промежуток времени, на который можно отодвинуть сроки выполнения работы вправо, не меняя ранних начал последующих за ней работ, и вычисляется как

$$R_{ij}^c = t_{ik}^{пн} - t_{ij}^{по}$$

Так как работы jk, последующие за работой ij, все равно не могут начаться раньше, чем это определено их ранним началом $t_{ik}^{пн}$, то использование свободного резерва на данной работе никак не отражается на сроках выполнения последующих работ.

Между резервами времени, которыми располагают работы, существует соотношение

$$R_{ij}^n \geq R_{ij}^c$$

Кроме того, резервы не отрицательны: $R_{ij}^n \geq 0$ и $R_{ij}^c \geq 0$.

Работы, принадлежащие критическому пути, имеют резервы времени, равные нулю, т.е. для них $R_{ij}^n = R_{ij}^c = 0$.

При расчете сетевых графиков в табличной форме используется списочная форма задания сетевого графика в котором указываются цифровые коды i и j продолжительность работ t_{ij} .

Обязательна упорядоченная нумерация событий. Работы заносятся в список в порядке возрастания первых чисел их кодов i , при этом вначале записываются все работы, выходящие из 1-го (начального) события и имеющие первое число кода 1, затем - все работы, выходящие из 2-го события (начальное число кода - 2); потом из 3-го и т.д. Работы, выходящие из одного события, заносятся в список в порядке возрастания вторых чисел их кодов j . Так, если из события 5 выходят работы 5-6, 5-9, 5-8, то в список они должны заноситься в порядке 5-6, 5-8, 5-9.

При упорядоченной нумерации событий (для всех работ) и соблюдении правил занесения работ в список для любой работы ij вся информация о предшествующих работах будет расположена в строках таблицы, находящихся выше той, в которой записана информация о данной работе. При этом работы, непосредственно предшествующие данной, последним числом кода будут иметь i , т.е. начальное число кода данной работы. Вся информация о работах, последующих за работой ij , будет записана в строках таблицы, лежащих ниже. При этом работы, непосредственно последующие за данной, первым числом кода будут иметь j , т.е. последнее число кода данной работы.

Цель расчета состоит в определении ранних и поздних сроков выполнения работ, резервов времени, которыми располагают работы, а также в индикации критического пути и определении календарных сроков выполнения работ, например по их ранним началам.

Расчет ранних сроков выполнения работ производится «ходом вперед», что соответствует движению в направлении от первой строки к последней.

Алгоритм расчета ранних сроков следующий:

- 1) определяются ранние начала работ, выходящих из начального события (первое число кода этих работ $i = 1$);
- 2) по формуле находятся ранние окончания тех работ, для которых определены их ранние начала (если определено раннее окончание последней работы, переходят к п.4);
- 3) по формуле определяются ранние начала работ, первое число кода которых равно $i + 1$ (переход к п.2);
- 4) конец.

Продолжительность критического пути равна максимальному из чисел 5-го столбца таблицы.

Расчет поздних сроков выполнения работ ведется «ходом назад». Алгоритм расчета поздних сроков такой:

- 1) определяется позднее окончание работ, входящих в последнее событие (последнее число кода этих работ равно числу событий в графике j), оно равно продолжительности критического пути;
- 2) по формуле находятся поздние начала работ, для которых найдены их поздние окончания, если определено позднее начало работы, код которой записан в первой строке, переходят к п.4;
- 3) по формуле находятся поздние окончания работ, последнее число кода которых равно $j - 1$, переход к п.2;
- 4) конец.

Далее следует расчет резервов времени, который можно выполнять в произвольном порядке. Однако целесообразно вначале вычислить полные резервы времени и если они окажутся равными нулю, то для этих работ можно будет не вычислять свободных резервов, ибо последние будут равны нулю.

По формуле определяют свободные резервы для всех остальных работ.

Исходные данные для расчета сетевого графика изготовления стенда приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Перечень работ.

Код работы	Наименование работы	Код события	Наименование события	Продолжительность работы, дн
1 -2	Изучение литературы	2	Устройство и принцип действия изучено стенда	5
2-3	Составление технического задания	3	Изучены технические характеристики	5
2-12	Изучение литературных	12	Составление пояснительной	4
3-4	Поиск материалов	4	Материалы	5
4-5	Создание эскизного проекта	5	Эскиз готов	10
5-6	Закупка материалов	6	Подготовка к использованию	5
6-7	Обработка	7	Материал готов к	10
7-8	Изготовления узлов	8	Узлы изготовлены	15
8-9	Соединение узлов	9	Узлы собраны	2
9-10	Конструирование	10	Конструкция готова	10
10-11	Монтаж и наладка стенда	11	Установка готова	2
11-12	Тестирование	12	Тестирование на	2
12-13	Составление пояснительной	13	Пояснительная записка готова	10
13-14	Защита дипломного	14	Диплом защищен	1

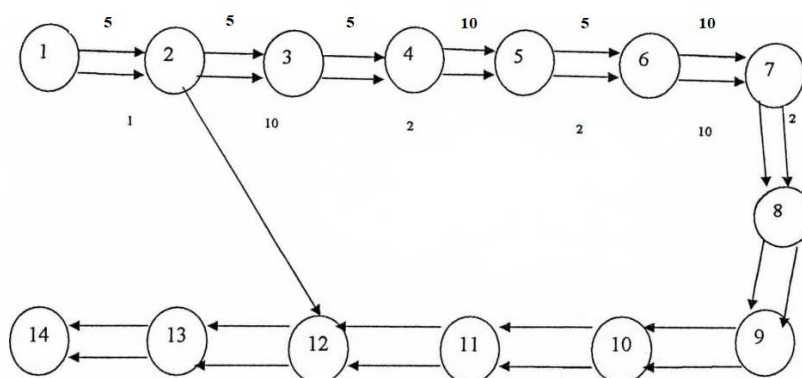


Рисунок 3. Сетевой график процесса выполнения дипломной работы

Таблица 4.2. Расчет параметров сетевого графика табличным методом.

Предшествующее событие i	Последующее событие j	Продолжительность работы t_{ij}	Раннее начало работ $t_{р.н.(ij)}$	Раннее окончание работ $t_{р.о.(ij)}$	Позднее начало работ $t_{п.н.(ij)}$	Позднее окончание работ $t_{п.о.(ij)}$	Полный резерв времени работ $Rn_{(ij)}$	Частный резерв времени работ $Ч_{(ij)}$
1	2	5	0	5	0	5	0	0
2	3	5	5	10	5	10	0	0
2	12	4	5	40	5	42	2	35
2	3	5	10	15	10	15	0	0
3	4	5	15	20	15	20	0	0
4	5	10	20	30	21	31	1	10
5	6	2	30	32	31	33	1	2
6	7	2	32	34	32	34	1	0
7	10	2	34	36	36	38	2	2
8	9	2	38	40	38	40	0	0
9	11	2	40	42	40	42	0	0
10	12	2	42	44	42	44	0	0
11	12	2	40	44	44	46	2	4
12	13	10	44	54	44	54	0	0
13	14	1	54	55	54	55	0	0

i - предшествующее событие;

j - последующее событие;

t_{ij} – продолжительность работы

$t_{р.н.(ij)}$ – раннее начало работ;

$t_{р.о.(ij)}$ – раннее окончание работ;

$t_{п.н.(ij)}$ – позднее начало работ;

$t_{п.о.(ij)}$ – позднее окончание работ;

$Rn_{(ij)}$ – полный резерв времени работ;

$Ч_{(ij)}$ – частный резерв времени работ;

Для расчета полного и частного резервов времени работ используются следующие формулы:

$$Rn_{(ij)} = t_{п.о.(ij)} - t_{р.о.(ij)}$$

$$Ч_{(ij)} = t_{р.н.(jh)} - t_{р.о.(ij)}$$

где $t_{р.н.(jh)}$ раннее начало последующей работы.

Выводы: Сетевой график изготовления стенда (рис. 1) имеет пути:

$L_1: 1-2-12-13-14; t_{L1} = 51$ дн.

$L_2: 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14; t_{L2} = 55$ дн.

Критический путь равен 55 дней и не имеет резервов времени.

Для расчета резервов времени событий необходимо определить ранние и поздние сроки наступления событий.

Таблица 4.3. Расчет ранних и поздних сроков свершения событий и резервов времени событий

Код событий	t_{pi}	t_{ia}	Ri
1	0	0	0
2	5	5	0
3	10	10	0
4	15	15	0
5	20	20	0
6	30	31	1
7	32	33	1
8	34	34	0
9	36	48	2
10	40	40	0
11	42	42	0
12	44	46	2
13	54	54	0
14	55	55	0

4.2 Смета затрат на изготовление стенда

Себестоимость продукции – это стоимостная оценка используемых в процессе производства продукции природных ресурсов, сырья, материалов, топлива, энергии, основных фондов, трудовых ресурсов, а также других затрат на её производство и реализацию. Состав себестоимости регламентируется Постановлением Правительства РФ №552 от 05.08.92 г. с учетом изменений и дополнений №661 от 01.07 95 г. и главой 25 Налогового кодекса РФ

- 1) Материальные затраты (за вычетом стоимости возвратных отходов);
- 2) Затраты на оплату труда (все виды оплаты труда и другие выплаты);
- 3) Отчисления на социальные нужды;
- 4) Амортизация основных фондов;
- 5) Прочие денежные затраты.

Таблица 4.4. Расчет стоимости материалов, необходимых для изготовления стенда

Наименование	Размеры (см)	Количество (шт, кг)	Стоимость, одной шт. руб	Всего затрат, руб.
Электромагнит	7*5*5	1	2000	2000
Переходное реле	11*2*11	1	500	500
Шкаф управления	300*200*150	1	1800	1800
Контроллер	210*95*4	1	12000	12000
Итого	-	-	-	16300

4.3 Расчет заработной платы рабочих

В таблице 4.5. представлен расчет заработной платы.

Таблица 4.5. Расчет заработной платы

Должность	Количество отработанных часов	Стоимость отработанного часа, руб	Заработная плата,руб.
Специалист КИПиА	40	800	32000
Итого	-	-	32000

Страховые взносы в ГВФ: это 30,2% от заработной платы работника.

$$Стр.т = 32000 * 0,302 = 9664 \text{ руб.}$$

Итого: общие страховые взносы в ГВФ составляют 9664 рубля.

Амортизационные отчисления.

Ежегодную сумму амортизационных отчислений рассчитывают следующим образом:

$$A = \frac{C_{пер} * H_a}{100}, \quad (00)$$

где A - ежегодная сумма амортизационных отчислений; $C_{перв}$ - первоначальная стоимость объекта; H_a - норма амортизационных отчислений.

Норма рабочего времени на 2018 год при 40-часовой рабочей недели - 1920 часов.

где A - ежегодная сумма амортизационных отчислений; $C_{перв}$ - первоначальная стоимость объекта; H_a - норма амортизационных отчислений.

Норма рабочего времени на 2018 год при 40-часовой рабочей недели - 1920 часов.

Таблица 4.6. Расчет амортизации основных средств

Объект основных средств	Первоначальная стоимость, руб.	Норма амортизации, %	Сумма годовой амортизации, руб.	Амортизация за период работы, один день, руб.
Персональный компьютер	48 000	25	12 000	6,25*40
Итого				250

Смета суммарных затрат на изготовление стенда представлена в таблице 4.7:

Таблица 4.7. Смета затрат на изготовление стенда

Элементы	Сумма, руб.
Материалы:	16 300
Заработная плата:	32 000
Страховые взносы в ГВФ	9 664
Амортизационные отчисления	250
Всего:	58 214

Вывод: Разработана сетевая модель выполнения работы. Критический путь составляет 55 дней, что свидетельствует о выполнении работы в установленный учебным графиком срок. Составлена смета затрат на выполнение работы, равная 58 214 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы, был разработан стенд для моделирования динамических нагрузок подшипников качения шарошечных долот.

1. Основные технические характеристики разработанного стенда:

- Минимальный внутренний диаметр подшипника 20 мм;
- Максимальный внутренний диаметр подшипника 40 мм;
- Максимальный внешний диаметр подшипника 130 мм;
- Частота вращения вала 2700 об/мин;
- Максимальная динамическая радиальная нагрузка 170 Н;
- Максимальная потребляемая мощность 150 Вт;
- Габаритные размеры: длина 600 мм, высота 350мм, ширина 400мм;
- Вес 10 кг;

2. Разработаны требования по безопасной эксплуатации стенда:

- требования перед началом работы;
- требования во время работы;
- требования по окончании работ;
- требования в аварийных ситуациях.

3. Затраты на изготовление стенда:

Разработана сетевая модель выполнения работы. Критический путь составляет 55 дней, что свидетельствует о выполнении работы в установленный учебным графиком срок. Составлена смета затрат на выполнение работы, равная 58214 рублей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Основная литература

1. Воронов, Ю. Е. Совершенствование бурового оборудования разрезом / Ю. Е. Воронов. – Кемерово: Кузбасс. гос. ун-т, 1998. – 192 с.
2. Справочник. Открытые горные работы / К. Н. Трубецкой [и др.]. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.
3. Гилев А.В. Проектирование рабочих органов и режимных параметров буровых станков для сложноструктурных горных массивов / А.В. Гилев, А.О. Шигин, В.Д. Буткин – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 312 с.
4. Симкин, Б. А. Справочник по бурению на карьерах / Б. А. Симкин, Б. Н. Кутузов, В. Д. Буткин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – 224 с.
5. Калашников, А. Г. Приоритетные направления создания техники для бурения взрывных скважин на открытых горных работах / А. Г. Калашников, Б. Н. Кутузов // Горный журнал. – 1997. – № 8. – С. 28–34.
6. Техника, технология и опыт бурения скважин на карьерах / под ред. В. А. Перетолчина. – М.: Недра, 1993. – 286 с.
7. Буткин, В. Д. Основы техники и технологии бурения горных пород на карьерах: учеб. пособие / В. Д. Буткин, А. В. Гилев; ГАЦМиЗ. – Красноярск, 1995. – 208 с.
8. Подэрни, Р. Ю. Основные концепции создания бурового станка нового технического уровня / Р.Ю. Пдэрни, М.Р. Хромой // Горный журнал. – 1994. - № 3. – С 35-39.
9. Сафохин, М. С. Машинист буровой установки на карьерах: учеб. пособие для учащихся профтехобразования / М. С. Сафохин, Б. А. Катанов. – М.: Недра, 1992. – 312 с.
10. Иванов, К. И. Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых / К. И. Иванов, В. А. Латышев, В. Д. Андреев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1987. – 272 с.
11. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов. М.: Недра, 1980. 360 с.

12. Подэрни, Р. Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ / Р. Ю. Подэрни. – М.: Недра, 1985. – 544 с.
13. Решетов, Д. Н. Детали машин: Учебник. – 4-е изд. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
14. Буткин, В.Д. Проектирование буровых долот для открытых, земляных и строительных работ / В. Д. Буткин, А. В. Гилев и [др.]. – М.: МАКС Пресс, 2005. – 240 с.
15. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) : учебник для бакалавров / С. В. Белов. — 4-е изд., перераб. и доп.— Москва: Изд-во Юрайт; ИД Юрайт, 2013.— 682 с
16. Харламов, Г.А. Безопасность производственных процессов на предприятиях машиностроения [Текст] /Под ред. Г.А. Харламова. – Москва : Новые знания, 2006. – 461 с.
17. Лапкаев, А.Г. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность труда / А.Г. Лапкаев. – Красноярск, ИПК СФУ, 2009.
18. Белов, С.В. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С.В. Белов, В.А. Девисилов, А.В. Ильницкая, и др.; под общей редакцией С.В. Белова.— 8-е издание, стереотипное – М.: Высшая школа, 2009. - 616 с.